

5

FPT 法による変風量空調システム（VAV 空調システム）の省エネルギー
設計・施工・調整・試験方法に関する技術解説書

10

第 1 編 設計編

v.20.1 2024 年 1 月 6 日 （吉田改訂→20231122 委員会後）
吉田治典（1～6）、松下直幹（5.6、6.6、6.7）

v.23.0 2025 年 6 月 9 日 （吉田改訂（1～6））

15

v.24.1 2025 年 9 月 7 日 委員レビュー後整理

v.25.1 2025 年 10 月 5 日 委員レビュー後整理

20

25

30

第1編 設計編

目次

	1. はじめに.....	4
	2. 用語の定義と解説.....	5
5	3. VAV 空調システムの省エネとその課題.....	7
	3.1 給気風量と圧力.....	8
	3.2 給気風量と給気温度.....	8
	3.3 熱負荷性状の異なる複数室の室温制御.....	10
	3.4 給気・還気・排気・取入外気のエアバランス.....	11
10	3.5 室温制御と空気質.....	11
	3.6 暖房と VAV 空調システム.....	11
	3.7 まとめ.....	12
	4. 対象とする VAV 空調システムと省エネ評価の範囲.....	12
	4.1 システム要件.....	12
15	4.1.1 基本システムの構成と要件.....	13
	4.1.2 共用の局所排気ファン.....	15
	4.1.3 対象外とするシステム.....	16
	4.2 省エネ評価対象の除外.....	16
	5. 省エネ設計法.....	16
20	5.1 ゾーニングと空調システムの構成.....	16
	5.1.1 ゾーニング.....	16
	5.1.2 システム構成.....	17
	5.1.3 最小風量設定値.....	17
	5.2 給気ダクト系とファンの設計.....	22
25	5.2.1 VAV ユニットの選定と要求事項.....	22
	5.2.2 給気ダクトの設計.....	25
	5.2.3 給気ファンの選定.....	26
	5.2.4 給気ファンの最大・最小回転数.....	27
	5.2.5 ファンの電動機・インバータの効率.....	27
30	5.3 ファン回転数と給気温度の制御.....	27
	5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線.....	27
	5.3.2 給気温度制御.....	32
	5.4 エアバランスと給気系以外の設計.....	35
	5.4.1 Type-A のエアバランスと必要な設計配慮.....	36
35	5.4.2 Type-B1 のエアバランスと必要な設計配慮.....	41
	5.4.3 Type-B2 のエアバランスと必要な設計配慮.....	42
	5.4.4 Type-B3 のエアバランスと必要な設計配慮.....	42
	5.4.5 Type-C のエアバランスと必要な設計配慮.....	43
	5.5 ファン消費電力の推定.....	43

	5.5.1	顕熱負荷に対する消費電力推定方法の手順（給気ファン）	43
	5.5.2	還気風量に対する消費電力推定方法の手順（還気ファン）	45
	5.5.3	外気取入・余剰排気・局所換気ファン	45
	5.5.4	年間一次エネルギー消費量	46
5	5.6	初期調整に必要なデータと計測器	46
	5.6.1	自動制御メーカーのツールを用いた計測・操作	46
	6.	FPT 法による VAV 空調システムの搬送エネルギー削減計画書	47
	6.1	FPT 法が対象とする VAV 空調システムのゾーニングと構成	47
	6.1.1	ゾーニング	47
10	6.1.2	VAV 空調システムの構成	48
	6.1.3	最小風量設定値	48
	6.2	給気ダクト系とファンの設計	49
	6.2.1	VAV ユニットの選定と仕様指示	49
	6.2.2	給気ダクトの設計	49
15	6.2.3	給気ファンの選定	50
	6.2.4	給気ファンの最大・最小回転数	50
	6.2.5	ファンの電動機・インバータの効率	50
	6.3	ファン回転数と給気温度の制御	51
	6.3.1	給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線の決定	51
20	6.3.2	空調機の給気温度制御	51
	6.4	エアバランスと給気系以外のシステム	52
	6.5	ファン消費電力の推定	53
	6.5.1	熱負荷比から給気ファンの消費電力比を推定する回帰式	53
	6.5.2	還気風量比に対する還気ファンの消費電力を推定する回帰式	53
25	6.5.3	外気取入・余剰排気・換気ファンの年間一次エネルギー消費量	53
	6.5.4	web プログラムによる年間一次エネルギー消費量の推定	54
	6.6	初期調整に必要な測定センサ	54
	6.6.1	常設センサによる必要計測ポイント	54
	6.6.2	テンポラリな風量計測ポイント	55
30	6.6.3	自動制御メーカーのツールを用いた計測・操作	55
	6.7	初期調整・機能性能試験に関する特記仕様	55
	6.8	その他	56
	Appendix	 エラー! ブックマークが定義されていません。	
	A-1	給気ファン・還気ファンの初期調整方法(1)	エラー! ブックマークが定義されていません。
35	A-2	給気ファン・還気ファンの初期調整方法(2)	エラー! ブックマークが定義されていません。
	A-3	給気ファン・還気ファンの初期調整後のエネルギー消費量の計算	エラー! ブックマークが定義されていません。

1. はじめに

本書は、オフィスのような一般的な非住宅建築の保健空調で採用される変風量空調システム（以下 VAV 空調システム）における搬送動力の省エネルギー性能を高めるための設計・施工・調整・試験方法に関する技術解説である。

- 5 VAV 空調システムは、室またはゾーン（以後総称して室と呼ぶ）の熱負荷に応じて VAV ユニットの供給風量を制御することにより複数の室の室温を個別に維持することができるため、搬送動力が低減でき省エネ性能が高いと世界中で多用されている。しかし、空調システムの省エネは重要ではあるというものの、室温の制御、適切な気流分布や上限温度分布、換気量の確保、空気質の維持、外界と室間で生じる漏気や漏洩を防ぐための適切なエアバランスなど、環境維持などに関する空調システム本来の性能が
- 10 備わっていないければその使命は果たせない。また、熱負荷や使用条件がどうであろうと、VAV システムを採用しさえすれば高い省エネ性能を得られると期待するのは早計であり、以下に述べるような課題に対して十分な配慮をした設計・施工・調整がなされなければ適切な VAV システムの実現は難しい。実際、想定したような省エネ性能が得られない事例が実システムにおいても多数確認されており、これらの多くがこうした配慮と対応の不足が原因であるといつて過言でない。
- 15
- ・ ファンの消費エネルギー（搬送動力）は風量×出入口差圧にほぼ比例する。そのため搬送動力の省エネには風量を減らすだけではなく、必要十分な最小の差圧に制御して運転することが肝要である。しかし、例えば差圧が大き過ぎても VAV ユニットの風量を制御するため、差圧が過剰であるという不具合が顕在化することは殆どない。
 - ・ 供給空気によって処理される熱負荷（正確には顕熱負荷）は風量×給気温度差（＝室温－給気温度）
- 20 に比例するので、搬送動力の省エネのためには給気温度差をできる限り大きくする必要がある。しかし VAV ユニットの制御できる風量には機械的制約による上下限がある。そのため、例えば、給気温度差が小さいと熱負荷が大きい室では上限風量でも熱負荷が処理できず室温制御が適切にできず、逆に給気温度差が大きいと熱負荷が小さい室では下限風量でも熱負荷の過剰処理となり室温制御が適切にできない、という不具合が発生する。従って通常、給気温度差を適切に制御する機能が
- 25 付加されるが、熱負荷状態が余りに異なる室が同一 VAV ゾーンに併存すると、この機能があっても全室に対して適切な室温維持を満たす給気温度が見いだせないことがある。制御性能に優れた VAV システムといえども適切なゾーニング計画は不可欠である。
- ・ 空調の目的は室温維持だけではなく、室やゾーンの CO₂ 濃度、上下や平面の温度分布の均一化などという環境性能の維持もある。室温維持に必要な風量と環境維持に必要な風量は相反することもあり、その場合は両者の妥協的な風量を目指して制御する。つまり、常に風量制御の目的を明確にして省エネ設計や運転の方法を考える必要がある。
 - ・ VAV 空調システムは常に供給風量が増えるため、同時に還気・排気などの風量も制御して空調システム全体としての適切なエアバランスを達成することが求められる。エアバランスが不適切になると、外界と室の圧力差が大きくなって想定外の漏気・漏入が発生し、熱エネルギーの無駄が生じたり外気取入ダクトから意図した外気量を取入れることができず適切に空気質が維持できなくなったりする。
- 30
- 35

本書では上記したような課題を考慮した上で、搬送動力の省エネを達成することを目的として、1) 適切に VAV 空調システムを設計する方法と、それを 2) 適切に施工・調整・試験をする方法について解説する。なお、本書では、この 1)と 2)を実施することを合わせて FPT 法※と称する。

40

※ FPT とは Functional Performance Testing:（機能性能試験）の省略形である。

2. 用語の定義と解説

a. FPT 法

本書でいう FPT 法とは、建築設備に求められる実省エネ性能を担保するため、竣工前に次の 2 つを実施することをいう。

- 5 1) 設計： 本解説書が要求する事項に基づき設計して、設計の主旨や意図を明記した削減計画書を作成する。
- 2) 施工・調整・試験： 設計図書と削減計画書によって施工し、竣工前に、本解説書が規定する初期調整方法によってシステムを調整し、本解説書が規定する機能性能試験を行って検証する。

b. 機能性能試験 (FPT: Functional Performance Testing)

- 10 機能性能試験 (FPT) とは、建築設備のシステムとしての効率 (COP・WTF・ATF など)、制御性能 (制御の安定性・妥当性など)、エネルギー性能 (エネルギー消費量など) などが、発注者の要件 (OPR: Owner's Project Requirement) を満たしていることを検証するための試験をいい、「試運転調整」の完了後に実負荷がかかった実際の運用状態で 1~2 年間継続して行うものと定義されている¹⁾。

- 15 ただし本解説書では、本来の機能性能試験ではなく、“竣工前の実負荷がかからない状況下で行う機能性能試験”として定義する。

c. 可変風量空調システム (VAV 空調システム、Variable Air Volume Air Conditioning System)

- 20 可変風量空調システム (VAV 空調システム) は、空調対象室への給気風量を増減して室温を制御する空調システムであり、定風量空調方式に比べて年間の送風動力を減減することができる。本システムは、給気ファンを有する空調機に加えて、還気ファン、局所排気ファン、余剰排気ファンなどの空気搬送設備、可変風量 (VAV) ユニット、モータダンパ (MD) などの風量調整機器、ならびにこれらの制御装置を有し、室温制御だけではなく室の温熱環境ならびに空気質の維持や制御も合わせて行う機能を有する。

d. 可変風量 (VAV) ユニット (Variable Air Volume Unit)

- 25 可変風量 (VAV) ユニットとは、風量を制御する機構 (アクチュエータやダンパ) と電子的な制御装置を有し、要求信号に基づいて風量を制御することができるユニットをいう。

e. デュアル VAV ユニット

- 30 デュアル VAV ユニットとは、ペリメータゾーンとインテリアゾーンの境目に両系統の VAV ユニットを併設し、ペリメータゾーンが暖房モードで稼働しているときに冷房要求が発生すれば、インテリアゾーン系統に接続された冷房可能なユニットを稼働して冷房要求にも対応できるという複合機能を有する VAV ユニットをいう。

f. 室内顕熱負荷

室内顕熱負荷とは、室温を設定温度に保つために必要な顕熱量をいう。これは窓・外壁・内壁の貫流熱・放射、透過日射・放射、すきま風、内部発熱などの顕熱負荷の合算値である。

g. VAV 最大風量設定値

- 35 VAV 最大風量設定値とは、VAV ユニットが供給できる風量の上限值である。ただし、ユニット毎に制御パラメータによって設定するもので、機械としてユニットが供給できる最大風量を意味しない。運転中この値以上の風量にはなることはない。通常この値は、設計最大風量に設定する。

h. VAV ユニット最小風量設定値

- 40 VAV ユニット最小風量設定値とはユニットが供給する風量の下限值で、ユニット毎に制御パラメータで設定する。通常、この値は室が要求する CO2 濃度など、環境維持に必要な最小風量とする。運転中、

風量がこの値以下にはなることはない。ただし強制閉止信号を受ければ風量はゼロになる

i. VAV ユニット供給限界最小風量

VAV ユニット供給限界最小風量とは、VAV ユニットが適切に制御できる範囲内で供給可能な風量の下
限値※をいう。つまり、ユニットの風速センサが精度よく計測できる最低風速に対応した最小風量である。

5 なお、VAV ユニット最小風量設定値 $\geq$ VAV ユニット供給限界最小風量である。

※ メーカーにもよるがこの風量はユニット定格風量の 10~20%程度で、これはユニット内で計測される最小風速（約 1.0~1.5m/s 程度）に対応している。

j. 定風量（CAV）ユニット（Constant Air Volume Unit）

定風量（CAV）ユニットとは、ユニットの前後差圧の大小にかかわらず風量を一定値に制御できるユ
ニットをいう。自力式の専用 CAV ユニットが基本であるが、代用として VAV ユニットの制御して定風
量ユニットとして用いることもある。

10

k. 風量調整モータダンパ（MD, Motor Damper）

風量調整モータダンパとは、風量を調整するためにダクトや空調機器に設けるモータで開度調整する
制御機能が付加されたダンパである。

15

l. 給気温度制御

給気温度制御とは、空調機の給気温度が指定する設定値となるように冷温水コイルの流量を制御弁で
調整する制御をいう。制御弁は通常二方弁で PI 制御とするのが一般的である。

m. 給気温度リセット制御

給気温度リセット制御とは、当該空調機配下にある全ての VAV の要求風量を情報として用いて判定し、
給気温度に補正を加える制御をいう。

20

n. CO2 濃度制御

CO2 濃度制御とは、空調機への還気あるいは指定する対象室の CO2 濃度が設定値となるように取入外
気量を増減する制御をいう。

25

以下は、図-2.1 を参照。

o. 外気導入ダクト

外気取入口と空調機を結ぶ外気を取り入れるためのダクト。

p. 給気ダクト

空調機と空調対象室を結ぶ給気用のダクト。

30

q. 還気ダクト

空調対象室と空調機を結ぶ還気用のダクト。

r. 余剰排気ダクト

空調機あるいは室と外気に通じる排気口を結び余剰空気を排気するためのダクト。

s. 局所換気ダクト

空調対象室から廊下などの共用空間を経由して空気を流し、局所換気が必要なトイレやパントリーな
どから外界へ排気するためのダクト。

35

t. 給気ファン

空調機が対象とする室に給気するためのファン。

u. 還気ファン

空調対象室から空調機まで還気するためのファン。

40

v. 外気取入ファン

外界から外気を空調機に導入するためのファン。

w. 余剰排気ファン

余剰空気を外界に排気するためのファン。

5 x. 局所換気ファン

トイレやパントリーなど、局所換気が必要な空間から外界へ排気するためのファン。

y. 設計外気量

設計で規定する居室人員や燃焼器具に対して必要となる新鮮外気量。

z. 必要局所換気量

10 トイレやパントリーなどの局所換気に必要な風量。

z1. 外気冷房

外気冷房とは、室内よりも外気の温度や比エンタルピーが低い場合に、外気を取入れて冷房効果を得ることをいう。外気冷房の効果を最大にするには給気ファンの最大（定格）風量とするのがよいが、外気取入ガラリ・外気導入ダクトなどが大きくなる、ファン風量を最大にすると搬送動力が多大になり必ずしも省エネでないことがある、等の理由で定格風量以下で設計することもある。

15

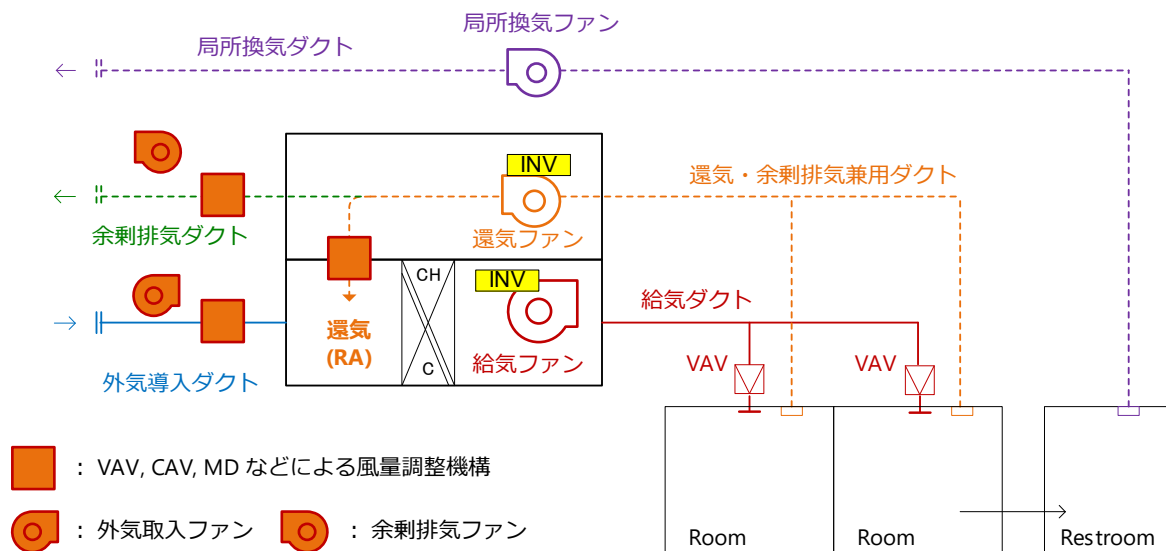


図-2.1 標準的な VAV 空調機システムの構成

注) 外気導入ダクトと余剰排気ダクトにファンと風量調整機構が併記されているのは、どちらかが設置されるという意味である。

20 3. VAV 空調システムの省エネとその課題

一般的に、VAV 空調システムは、給気ファンを有する空調機、還気ファン、排気ファン、複数の VAV ユニットの構成されるが（図 3.1）、空調ゾーンが1つしかないシステム、排気ファンがないシステム、余剰排気ファンやダクトが別にあるシステム、変風量ではあるが VAV ユニットの有しないシステムなどシステム構成は多様である。本章では、こうした種々の VAV 空調システムが抱える省エネ上の課題を系統的に整理する。

25

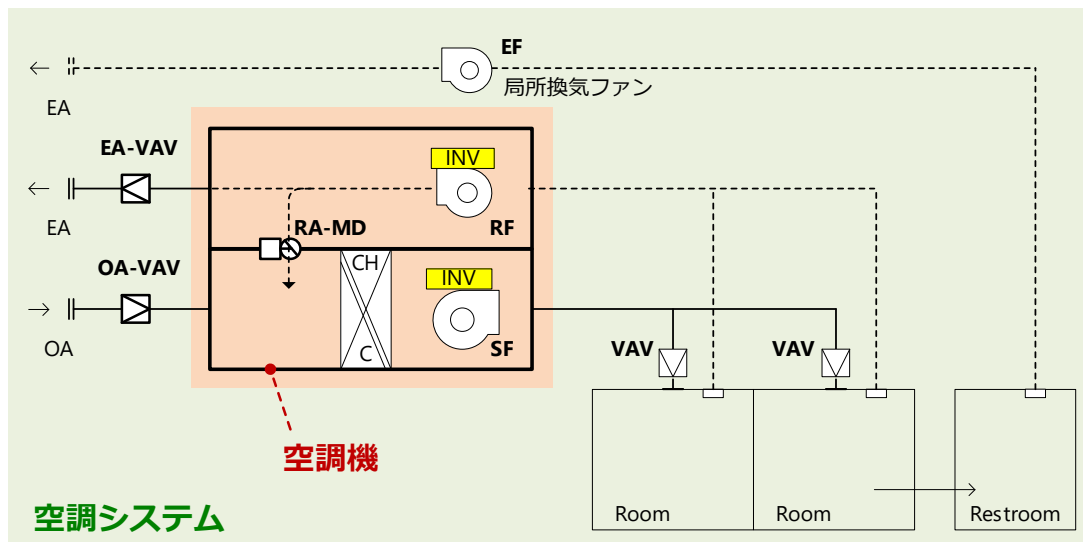


図-3.1 標準的な空調機・空調システム例

3.1 給気風量と圧力

ファンの消費電力は、大略、風量×圧力に比例する。通常、VAV 空調システムでは風量減による省エネがクローズアップされるが、圧力も同じインパクトをもつことが軽視されがちである。必要な最小圧力は、VAV ユニットが適切に稼働する最小の圧力で決まり、許容される最大圧力は風量制御が正常に働き VAV ユニットの発生騒音が限界値以下であることで決まる。過剰な圧力で運転すると非省エネであるが、室温制御に特段の悪影響がでず騒音値も許容範囲になることが多いため、居住者のクレームもなく不具合ではないと見なされる。実際、こういう運転は多い。

一般的にダクト内の圧力は空調機からみて末端の圧力が低く根元の圧力が高い。しかし、各室の熱負荷の大小や室の使用／不使用により風量は時々刻々変化するため常に末端ダクトの圧力が低いとは限らない。また複雑に分岐するダクト系では末端がどれかが不鮮明である。そのため、ダクト内のどこかの圧力が最小かを設計時に確定的に定めることはできない。旧来の VAV 空調システムではダクト内に圧力センサを設置し、それによりできるだけ最小の圧力となるようにファンを制御していたが、上記した理由でこれは簡単ではなく課題になっていた。

最近、当該系統の VAV ユニットの適正開度信号（一般に 85～100%未満をいう）に基づいてファンの回転数を制御する方法が登場し、必要最小限の圧力に制御することが以前より容易かつ適切にできるようになった。しかしこの方法でも、複数 VAV ユニットからの増減要求に相反が生じることもあり、課題が完全に解消した訳ではない。

3.2 給気風量と給気温度

本節では VAV システムの給気風量と給気温度の関係について考察するが、その前に冷房／暖房モードと冷風／温風モードについて説明する。一般に、冷房負荷が生じる室には冷風を供給して冷房をし、暖房負荷が生じる場合は温風を供給し暖房をする。そのため、冷房／暖房モードと冷風／温風モードを区別する必要はないように思える。しかし冬季、VAV 空調システムでは、空調機は外気を加熱するために暖房モードで運転されているときに、室には冷房要求があるため室温より低い給気温度で供給する運転をすることがある。この場合、VAV ユニットは冷房運転として制御する必要がある。このように空調機は暖房モード、VAV は冷房モードという表現となり混乱を招く可能性があるため、VAV 制御では、設定室温より低い温度で給気する場合を「冷房モード」ではなく「冷風モード」、その逆を「温風モード」と呼んで区別することになっている。なおこの逆の、空調機が冷房モード、VAV が暖房モードというケース

はない。

VAV ユニットが処理する顕熱負荷（=供給熱量）は風量×給気温度差（給気温度と室温の差）に比例するため風量だけではなく給気温度差の制御にも注意がいる。給気温度差を大きくすると風量が少なくでき搬送動力を減らせて省エネであるが、熱負荷が小さいと最小風量まで絞っても室が冷房要求の場合

5 は過冷、暖房要求の場合は過熱になることがある。そのため、常に大きな給気温度差ではなく、熱負荷が少ないときには給気温度差を小さくして適切な室温制御ができるようにする必要がある。これは一般に給気温度最適化制御とかロードリセット制御などと呼ばれる。本書ではこれを給気温度リセット制御と呼ぶことにする。

給気温度リセット制御は、系統内にある全ての VAV ユニットの風量状態信号の総合判定により行われる。以下、冷風モード運転の場合についてこれを説明する。

10

系統内に VAV ユニットが 1 台しかない場合には、図 3.2(左)に示すように、最大熱負荷時に風量も給気温度差も最大で運転し熱負荷が減るに従ってまず風量を減じる(①の矢印の方向の変化)。VAV ユニットが最小設定風量になっても更に熱負荷が減ると、給気温度リセット制御が働き給気温度差を減じる(②の矢印の方向の変化)。このように熱負荷の変化に伴い風量と給気温度差を表す運転点は青い太線上を動く。

15

これは、通称、L 字制御と呼ばれ、この線上に乗るような制御をすると搬送動力が最小となる。

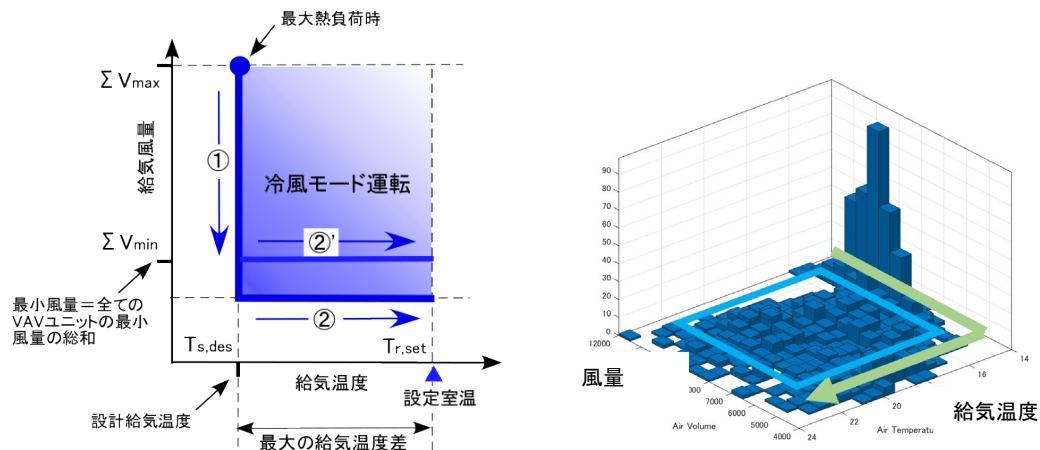


図 3.2 L 字制御の概念図 (注：給気温度の軸は右図と左図とで逆である)

次に VAV ユニットが複数ある通常のシステムについて考える。熱負荷が減る場合、全てのユニットの熱負荷が同じ割合で減ることは希で、一部の室ユニットの風量がまず最小になる。そのため、その室の過冷却を避けるために、全ユニットの最小風量の和 ΣV_{min} が②よりも大きい風量②'において給気温度差を減じなくてはならない状況が生じる。②'の位置は熱負荷の状況によって様々なため、運転点はユニットが 1 台のときのような L 字の線状ではなく L 字の右上に面的に分布する。図 3.2 (右) は運転点が面的に分布することを頻度として示した実システムの例である (右図は給気温度の軸が左図とは左右が逆なので注意)。

20

なお、場合により、低風量時の空気の停滞感や室内の温度ムラが生じることを防ぐためとか、CO₂ 濃度など室の空気質を適切に維持するための風量を確保するため、などの理由で VAV の最小風量を意図的に大きくして設計する場合もある。また、制気口に結露が生じないようにするために冷風時の給気温度を高くして (給気温度差を小さくして) 設計することもある。

25

省エネのためには、できるだけ L 字の近くに運転点が現れるような「設計配慮」がまず第一であるが、竣工後のシステムが意図通りの運転になるように適切に「調整」することも重要である。図 3.3 は実ビルにおける給気風量と給気温度の関係を 1 年間の実測データをもとにグラフ化した例である。図 3.3 (左) は、実システムにおいて 6.2.3 節の「空調機の給気温度制御」で述べる要求事項に沿ってチューニングする前の運転状態、図 3.3 (右) はチューニング後の運転状態である。このように適切に調整することによ

30

り L 字により近い運転が可能となる（本例のチューニングにより搬送動力が 33%削減できたとされている）。

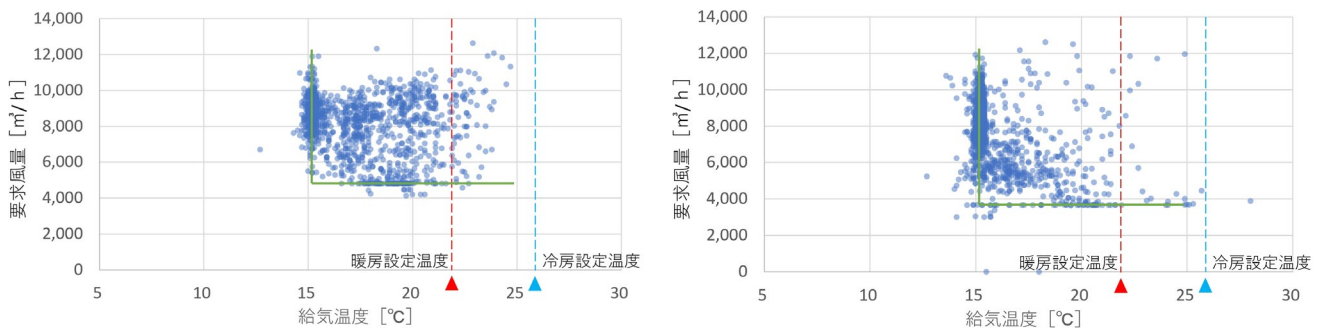


図 3.3 VAV 制御の調整前と調整後の給気温度と風量の発生散布図

5

次ぎに温風モードの場合を考える。温風モードでは暖かい空気が室の上部に停滞しやすいため、省エネよりも上下温度分布の解消のために熱負荷が減っても供給風量を減らさないという、冷風モードとは逆の制御が一般に優先されている（図 3.4）。これは通称、逆 L 字動作と呼ばれる。つまり、このような制御の場合、運転の大半が風量制御領域②ではなく給気温度制御領域①となり VAV による搬送動力効果が少ないと考えられる。従って本 FPT 法では、温風モード時の搬送動力の削減は評価しないこととする。

【参考】

・文献 2 では、VAV 空調システムの給気温度リセット制御とゾーンの湿度制御について考察している。

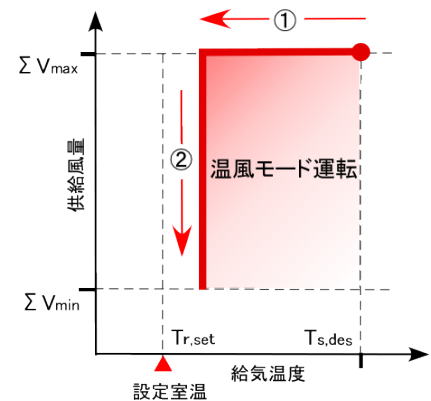


図 3.4 温風モードの VAV 制御

10

15

3.3 熱負荷性状の異なる複数室の室温制御

VAV 空調システムは、熱負荷がランダムに変動する複数室を個々に室温維持できるので制御性が高くかつ省エネだとされるが、この適応性には限界がある。例えば、ある系統に、大面積の事務室と、不定期に使用する小さな会議室や内部発熱が少ない役員室などが併存すると、両者の熱負荷性状が大きく異なると、事務室では給気温度差を増す、会議室では給気温度差を減らすという相反する要求が生じることがある。この場合、給気温度リセット制御が適切に働かなくなり室の過冷却や過熱が生じることがある。つまり、適応性が高い VAV 空調システムといえども、熱負荷が類似した室を同じ系統とする、いわゆるゾーニングが必要である。ただ、各室間の熱負荷のアンバランスがどの程度であれば同一ゾーンとして設計していいのかの判断は明解ではなく、ゾーニングの不適切さに起因する問題は実際に多々発生している。これを防ぐためには、熱負荷性状が大きく異なる室のダクト末端にレヒータを設ける設計があるが、これは省エネ上好ましくない。

【参考】

- ・文献 3 では実 VAV システムの計測データを検証し、熱負荷バランスの異なるゾーンがあると室温制御に不具合を起すことがあると指摘している。
- ・文献 4 では実 VAV システムの計測データを検証し、特定ゾーンの VAV ユニットの状態信号によって給気ファンの回転数が適切に下がらず、非省エネとなる不具合を起すことがあると指摘している。
- ・文献 5 では、居住者が自由に室温設定できるように設計すると熱負荷のアンバランスと同じ状況が生じ易いため、室温設定範囲に制限を設けることが好ましいとしている。

30

35

3.4 給気・還気・排気・取入外気のエアバランス

VAV で供給風量変動すると同時に、還気・排気・取入外気の各風量を適切にバランスさせることは重要である。エアバランスが崩れると、1) 新鮮空気量や換気量が不足して空気環境が悪化する、2) 新鮮空気が過剰になって空調機の処理熱が増え非省エネとなる、3) 室やゾーンの室内圧力と外界圧力の差が大きくなり過ぎて室の漏気や漏洩が増え非省エネとなる、4) 階段や廊下など非空調ゾーンから想定外の空気流入出が生じ非省エネとなる、などの不具合が生じる。

定風量システムの場合、施工時に各風量を調整してエアバランスを維持するが、VAV 空調システムでは給気量の変化に応じて他の風量（還気・排気・取入外気）も適切に制御してエアバランスを維持する仕組みが本来は必要である。しかしこれは簡単ではない。還気・排気・取入外気にもそれぞれ VAV ユニットや CAV ユニートを設置する方法はあるが、クリーンルームのように緻密なエアバランスが求められる場合はともかく、一般空調ではシステムが複雑になり過ぎコストもかかる。また、VAV・CAV ユニットの稼働には圧力が必要なので、必ずしもこの方法が省エネ上適切だとは限らない。そのため、通常は、給気量を基準にした簡易な推定式で還気ファンの回転数（風量ではない）を制御したり、排気量は制御せず施工時に一定に調整するなどの便法がとられる。

【参考】

・文献 5 では建物とエアバランスを考慮して VAV システムを設計する手法が提案されている。

3.5 室温制御と空気質

室には人の滞在や火気の使用があるので、CO₂、CO、VOC など、汚染ガス・物質の濃度（空気質）を制御するための新鮮空気の供給（換気）も要求される。しかし、単一ダクト方式による VAV 空調システムの場合、空調システム全体の平均濃度の維持はできても各室の濃度を個別に制御することはできない。もしも各室の空気質を個別に制御することが要求されるなら、新鮮空気供給用のダクトを VAV システム用のダクトとは別に設ける必要がある。

3.6 暖房と VAV 空調システム

本来、VAV 空調システムは冷房用として開発されたシステムである。そのため、このシステムを暖房に用いると次のような不具合が生じることがある。

- ・供給風量が減ったときに上下温度分布が大きくなり居住域の気温が不適切になる。
- ・室の利用度が増すと、滞在人員ならびにパソコンや照明からの内部発熱も増えて暖房負荷が減るため供給風量は少なくてよくなるが、滞在人員が増すので空気質維持のために風量を増やす必要が生じて矛盾する要求となる。
- ・同ゾーンであっても部分的に冷房要求となる室（区画）が生じることがあり、この場合、室が過熱状態になる。

こうした不具合は暖房負荷が大きいとより顕著になる。最近、外皮の断熱性がよくなり暖房負荷が小さくなったので課題が減っているとはいえ、これらへの配慮を忘れてはならない。

インテリアゾーンで暖房要求が生じることが少ないので、基本、これらの不具合はペリメータゾーンで発生する。これを防ぐための設計対応として、熱負荷処理をする別のシステム（例えばファンコイルなど）を設ける、末端にレヒータを設けて各室への給気温度を変えられるようにする、暖房時に生じる上限温度差を防止するように給気温度を制御する、VAV システムを避ける、ペリメータレス化するなどの工夫や配慮が考えられる。

ペリメータゾーンは方位やファサードの形状によって複雑な熱負荷が生じ、特に中間期や冬期に同じ系統で冷房と暖房の混在が生じることがある。しかし、同一系統のシステムでは冷房か暖房かどちらか

しか対応できないので、場合により、暖房モードのペリメータ系統と冷房モードのインテリア系統の VAV ユニットを併設した特殊な構造の VAV ユニット（デュアル VAV ユニットと称される）を設置して冷暖両方の要求を満たすような工夫も必要となる。

5 以上のことから、VAV 空調システムは暖房時の搬送動力の削減に殆ど貢献しないことには留意する必要がある。

【参考】

・文献 6 には、暖房時の給気温度が高くなりすぎないように室温との差（給気温度差）を 8～11℃以下とすべきであるという ASHRAE などの基準に関する記述がある。

3.7 まとめ

10 以上のように、原理的に VAV 空調システムは搬送動力の削減に有効ではあるが、設計・施工および調整・運用が不適切であれば種々の不具合が生じて搬送動力の省エネが十分に達成されない。そこで次章では、これらの不具合が生じないようにする設計方法に関して解説する。

4. 対象とする VAV 空調システムと省エネ評価の範囲

15 3 章で述べたような課題を解消して確実に VAV 空調システムの省エネを達成するには、設計者が課題の解消方法を理解し、性能規定で設計することが求められる。そこで本章では、機能や性能を左右する種々の知見を添えて VAV 空調システムの搬送動力削減を目指す省エネの設計法と本技術解説書で評価対象とするシステムや範囲について解説する。

4.1 システム要件

20 VAV 空調システムの構成には様々なバリエーションがある。そのため、例えばファンによる搬送動力の削減という観点に絞ったとしても、あらゆるシステム構成に対して共通した設計方法や調整方法を定めることは簡単ではない。そこで本技術解説書が対象とする VAV 空調システムは、以下のような要件を満たし、かつ 4.1.1 以下に示すようなシステム構成と機能を有するものに限定する。

【システム要件】

- 1) 空気循環方式： 給気用制気口を天井など空調室の高所に設けた空気循環方式の VAV システムを対象とする（床吹出口空調方式は対象外とする）。この理由は「3.2 給気風量と給気温度」の末尾を参照のこと。
- 2) 給気ファンの回転数制御： 空調機の給気ファンの回転数は、各 VAV への要求風量を積算した全供給風量と VAV ユニットの開度情報に基づいて制御する機構とする。
- 3) 各室・各ゾーン（以下、各室という）への VAV ユニットの給気量制御： VAV ユニットの給気量は設定室温により制御する機構とする。ただし、共用部分などの給気には CAV ユニットを併設してもよい。
- 4) 還気ファンの回転数制御： 還気ファンを有する場合は、エアバランスの適切な維持を図るために給気ファンの回転数制御の情報と連携して回転数制御を行うものとする。
- 5) 局所排気ファン： 空調ゾーンやトイレなどの非空調空間から排気するための局所排気ファンは原則として固定回転数とする。ただし、外気導入量と連動して可変とする場合は、ファンの回転数制御や VAV ユニットによってエアバランスを取るように制御する。また、複数の VAV 空調システムに対して共用となる局所排気ファンの場合は、オフィスアワーなど建物の基準運用時間外に一部の空調機が停止された場合のエアバランスに配慮した制御法を採用するものとする。
- 6) 外気取入量： 外気取入量は、空調対象室の空気質の維持とトイレなどの局所換気量を考慮した

風量とする。外気の入力は、a.外気ガラリと空調機を直接ダクトで接続する、b.このダクト圧損が大きいため外気取入用の給気ファンを別に設ける、c.外調機とダクトで接続する、などの方法があるが、いずれの場合も要求外気量が維持出来るように VAV ユニットなどの風量制御機構を設けるものとする。

- 7) 余剰排気ファン： 取り入れた外気量から局所排気量を差し引いた風量は余剰空気となる。この余剰空気は還気ファンの後流側からダクトで直接外界に排気する場合と、余剰空気用の排気ファンを別途設けて排気する場合とがある。いずれの場合も、エアバランス保持のために風量を適切に制御する機構を設けるものとする。
- 8) エアバランス： 上記した給気・還気・換気・外気取入のエアバランスは、ファンの回転数制御に加えて、適切な個所に VAV や CAV ユニット、MDなどを設けて制御できるようにする。
- 9) ペリメータゾーンの VAV： ペリメータ系統は、冬期に時間と場所によって冷房と暖房の要求が同時に生じることがある。このようなゾーンには、ペリメータゾーンの VAV ユニットにインテリアゾーンの VAV ユニートを併設し（デュアル VAV と称される）、冷暖どちらの要求にも対応できるように考慮することが望ましい。

ファンコイルなどの別設備

- 10) 外気冷房： 外気冷房が可能なシステムであっても本解説書の対象とするが、それが通常の冷暖房運転の障害にならないようにする。ただし外気冷房によって削減できる省エネは本解説書の対象外とする。
- 11) CO₂ 濃度による外気風量制御： 室内や還気空気の CO₂ 濃度によって外気量を可変に制御するシステムであってもいいが、これによる省エネも本解説書の対象外とする。

注) 本解説書では、例えば外気風量を制御できるシステムであっても設計定格風量（一定）として消費エネルギー量を評価し、初期調整も定格風量で行うこととする。

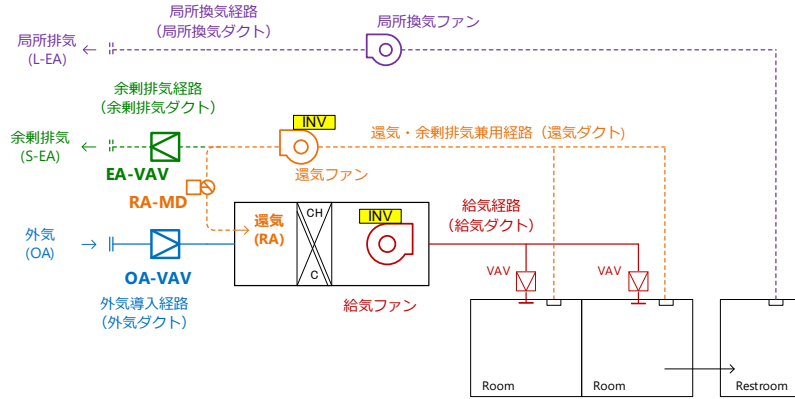
4.1.1 基本システムの構成と要件

本書が対象とする VAV 空調システムの構成は下図のようなタイプに限定し、備考に記すような機構や機能を有するものとする。

なお、

- 5 1) VAV ユニットからの供給空気は天井面あるいは室の上部にある制気口から給気されるシステムとする。（床吹出空調方式は本解説書の対象外とする。）
- 2) 取入外気量が一定の場合は設計定格値を OA-CAV にて制御し、可変の場合は室の CO₂ 濃度により、OA-VAV あるいは外気取入用給気ファンを制御する機構とする。
- 3) トイレやパントリーなどからの局所換気量は原則一定値とするが可変の場合は外気取入量と連動して制御できる機構とする。
- 10 4) トイレやパントリーなど、共用スペースからの局所換気系統が複数の VAV 空調システムで共用とされていてもよいが、空調機が台数制御されても風量バランスが保たれるように制御する。
- 5) 共用スペースの給排気設備が居室の空調設備と独立して設置され、相互に空気の流動がない場合は居室の空調設備だけに着目して下図のタイプを適用してよい。

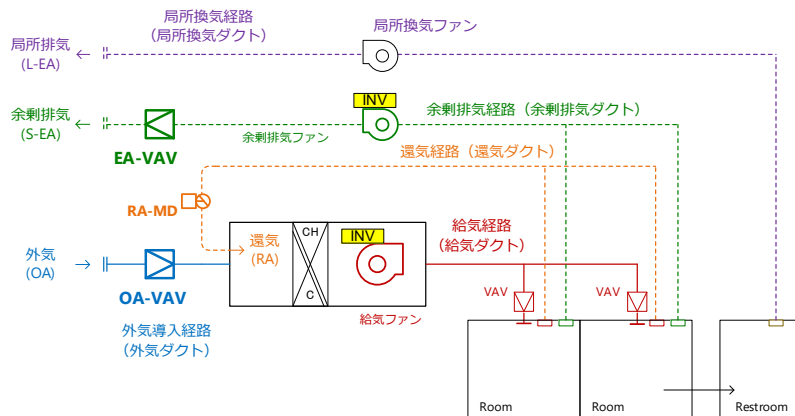
Type-A（基本型）



外気冷房が可能なシステムとする場合は、外気取入・余剰排気の風量が多大となるので、制御を適切にするためには外気冷房専用の OA-VAV、EA-VAV を別途設けることが好ましい。

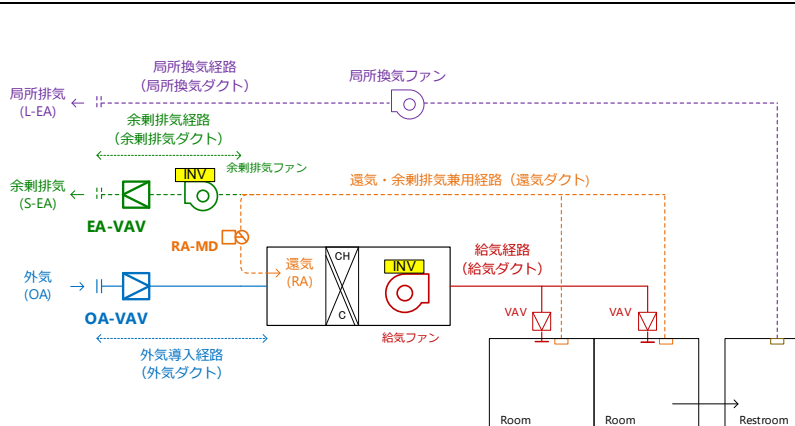
- ・ 還気ファンを有するシステムである。
- ・ 外気 (OA) 取入風量は OA-VAV ユニットで制御する。
- ・ OA 風量は固定値でも可変でもよいが、固定でも VAV ユニットで制御する。
- ・ OA 風量が可変の場合は CO2 濃度により制御する (最小値は換気排気量となる)。
- ・ 外気取入れダクトの抵抗が大きい場合は外気取入ファンを設けてもよい。この場合でも OA-VAV による風量制御ができるようにする。
- ・ 余剰排気ダクトには EA-VAV ユニットを設け、(=OA 量 - 換気量) として演算した風量になるように制御する。
- ・ AHU への還気ダクトには MD を設けて要求 OA 量が得られるように制御する。
- ・ 局所換気ファンは固定速とする。
- ・ 還気ファンが空調機と一体になったシステムも同類の Type とする。

Type-B1（還気ファン無・余剰排気ファン有 + 余剰排気別経路）

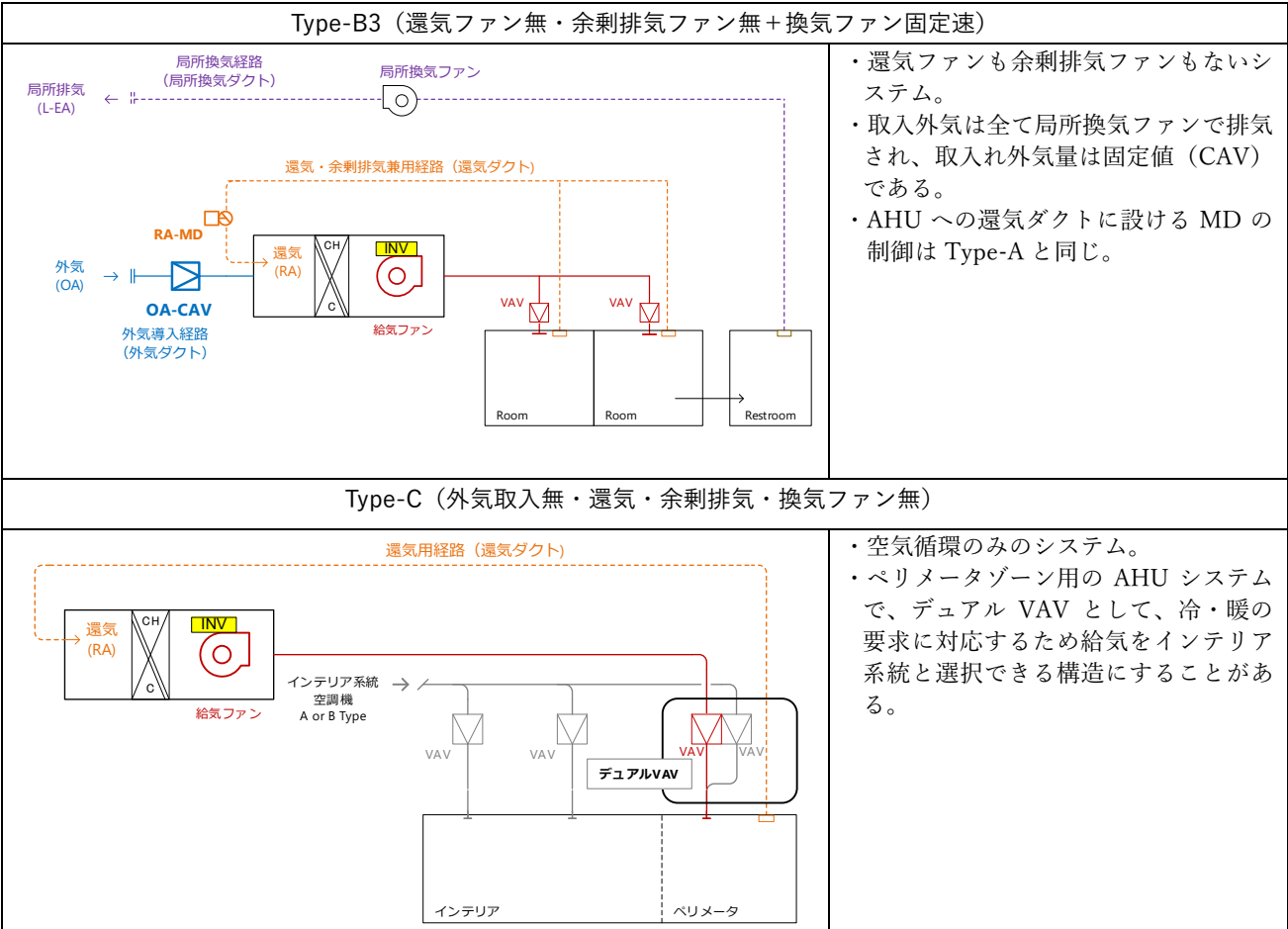


- ・ 還気ダクトとは別に余剰排気ダクトとファン、EA-VAV ユニットを設けたシステム。
- ・ 外気 (OA) 取入れの設備と制御に関しては Type-A と同じ。
- ・ EA-VAV ユニットの制御も Type-A と同じ。
- ・ AHU への還気ダクトに設ける MD の制御も Type-A と同じ。
- ・ 局所排気ファンは固定速とする。

Type-B2（還気ファン無・余剰排気ファン有 + 還気と余剰排気は兼用経路）



- ・ 還気ダクトと余剰排気ダクトを兼ねるシステム。
- ・ 余剰排気ファンと EA-VAV ユニットとを設ける。
- ・ 外気 (OA) 取入れの設備と制御に関しては Type-A と同じ。
- ・ EA-VAV ユニットの制御も Type-A と同じ。
- ・ AHU への還気ダクトに設ける MD の制御も Type-A と同じ。
- ・ 局所排気ファンは固定速とする。



Type	還気ファン	排気ファン	余剰排気ファン	外気取入ファン	
A	◎可変	○固定	—	△（可変）	基本型
B1	×	○固定	◎可変（固定）	△（可変）	還気ファンなし・余剰排気ダクトあり
B2	×	○固定	◎可変（固定）	△（可変）	還気ファンなし・余剰排気ダクトなし
B3	×	◎可変（固定）	×	△（可変）	余剰排気ダクトなし
C	×	×	×	×	主としてペリメータゾーン用

図-4.1.1 VAV 空調システム構成の Type 分け

◎回転数制御あり ○回転数制御なし △設置する場合がある（原則回転数制御あり）。

4.1.2 共用の局所排気ファン

5 一般に、大規模なビルなどでは同じ階に複数の VAV 空調システムがあっても局所排気ファンは共用とされることが多いが、排気ファンが固定速であれば、空調時間外に一部の空調システムが停止されると給排気バランスが崩れてしまう。このように、時間外の運転などで一部のシステムを停止する頻度が高い場合は、共用の局所排気ファンを固定速とせず可変速にする、排気ファンを台数制御できるようにする、などの対応をして風量バランスが維持できるように設計する。

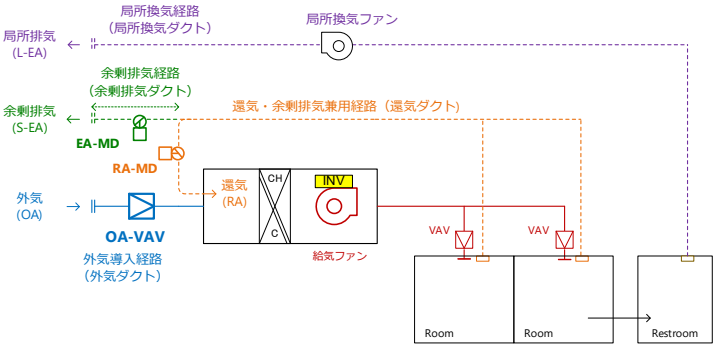


図-4.1.2 非推奨とするシステム

4.1.3 対象外とするシステム

図-4.1.2 のように、還気と余剰排気のダクトが兼用のシステムで、余剰排気ファンが設置されていない Type-B-2 と似た構成のシステムが実際に見られる。このシステムは、還気ダクトの経路が長くなり抵抗が大きい場合に外界に対する室内圧力が高くなり漏気が多くなる、余剰排気ファンがないのでエアバランスが取りにくいなどのため本書では非推奨（評価対象外）とする。

4.2 省エネ評価対象の除外

本解説書では以下の項目について省エネ評価対象から除外する。

- 1) 暖房時の搬送動力削減： 4.1 システム要件において、本書では天井吹出口の空調システムに限定している。しかしこの方式は暖房時に上下温度分布が付きやすいため、通常、暖房時には風量よりも給気温度差を優先して減らす制御が採られる。従って、搬送動力削減が限定的となるため暖房時の省エネは評価対象としない。
- 2) CO₂ 濃度制御による外気取入量の削減： 室内の CO₂ 濃度により取入外気量を削減すれば熱負荷の削減と同時に搬送動力の削減にもなるが、その効果は CO₂ 濃度制御のシステム、在室人員のシナリオ、制御アルゴリズムと合わせて考察する必要があるので省エネ評価対象から除外する。これについては、将来、本法とは別の評価方法を規定する予定である。従い、本書による省エネ評価では、外気取入量を設計定格値（一定）とする。
- 3) 外気冷房： 外気冷房を行えば冷房負荷は減るが搬送動力は増加することがある。外気冷房の省エネ評価は、熱負荷の削減と搬送動力の増加という相反する課題を考察する必要があるため、省エネ評価対象から除外する。これについては、将来、本法とは別の評価方法を規定する予定である。なお、本書による省エネ評価では外気冷房期間を除外して評価する。

【追記】 本書では風量を体積風量として扱っている。同じ質量の空気でも温度により体積が変化するが、これによる誤差は無視することとする。

5. 省エネ設計法

3 章では VAV 空調システムにおいて搬送動力の省エネ効果を得るには様々な課題があることを述べた。本章では、それらの課題を解消する設計方法について解説する。

5.1 ゾーニングと空調システムの構成

5.1.1 ゾーニング

3 章で述べたように、搬送動力削減のためには室の熱負荷性状や利用形態による適切なゾーニングと系統分けが必須である。しかし、例えばオフィスで、どうしてもゾーニングが困難な特殊な熱負荷や使用条件となる会議室や役員室などがある場合には、VAV 空調システムの制御が安定かつ適切となるように熱負荷を別途処理するためのシステムの配慮が必要である。

(1) 建築的配慮

ペリメータゾーンには方位や区画の違いによって冬期や中間期に同時に冷暖房が発生することがある。特にファサードの形状が複雑な場合や日射制御の工夫が不足する場合に同時発生が起きやすい。同一系統の空調システムは、冷房か暖房かどちらかしか対応できないので、同時発生が生じるとそのゾーンに

部分的な過冷や加熱が発生し室温維持が不適切となる。そのため、ペリメータゾーン内の熱負荷に大きな不均質がある場合は、庇を設ける、外壁や窓の断熱性を増す、ダブルスキンとするなどの建築的な工夫をして、できる限り時間的にも空間的にも熱負荷を均質化するように設計配慮をする。

(2) 設備的配慮

- 5 設備的には、a. 使用しない室の VAV ユニットが完全閉止できるようにする、b. ファンコイルなど別途熱処理をするシステムを設けるなどして VAV 空調システムに係わる熱負荷の不均質を少なくする、c. 冷暖房が同時に生じても対応できるように暖房モードのペリメータ系統と冷房モードのインテリア系統の VAV ユニットを併設したデュアル VAV ユニットなどを設置して冷暖両方の要求を満たすことができるようにする、などの配慮をする。

10 5.1.2 システム構成

各ゾーンの熱負荷の特性、維持環境、種々の要求条件などにより、4.3 節で説明した A～C のシステム Type のどれが当該ゾーンに最も適するかを判断して決定する。特に、通常無視されがちな最小風量設定値を設計で規定することが重要である。

5.1.3 最小風量設定値

- 15 VAV ユニット自体が風量調整できる最小値を VAV ユニット供給限界最小風量と呼ぶ。メーカーにもよるがこれは定格風量の 10～20%程度とされる。このようにユニット自身の風量調整範囲は広く、省エネの観点からは好ましい制御性を持つが、以下の理由により必ずしもこの供給限界最小風量まで絞らず、より大きい最小風量に規定する設計が必要なことがある。

- 20 1. 各室の環境条件（CO2 濃度など）を維持する外気量を確保するため。
2. 室内空気の停滞感をなくすための循環風量を確保するため。
3. 還気量は供給風量から排気量を減じた風量となるため、供給風量が少ない場合、還気量が極小になる。この場合でも還気ファンがサージングを起こさないような運転ができる風量を確保するため。

- 25 一般に、VAV 空調システムの設計方法では、「熱負荷が減れば VAV ユニットが風量を絞り、それに応じて各ファンの回転数が小さくなるように制御される」とだけ記載していて、風量が少ないときの運転に必要な設計配慮に言及されることが少ない。しかし、風量制御に下限があるということは搬送動力の省エネにも下限があるということであり、下限値を設計で意識することは重要である。

以上から、設計時に、

- 30 1) VAV ユニットの最小風量設定値
2) 回転数制御を行う給気ファンや還気ファンの最小風量

を明確に規定することが必須である。以下に、最小風量をどのように規定するのかについて例示する。

35

(1) 標準 Type-A の例

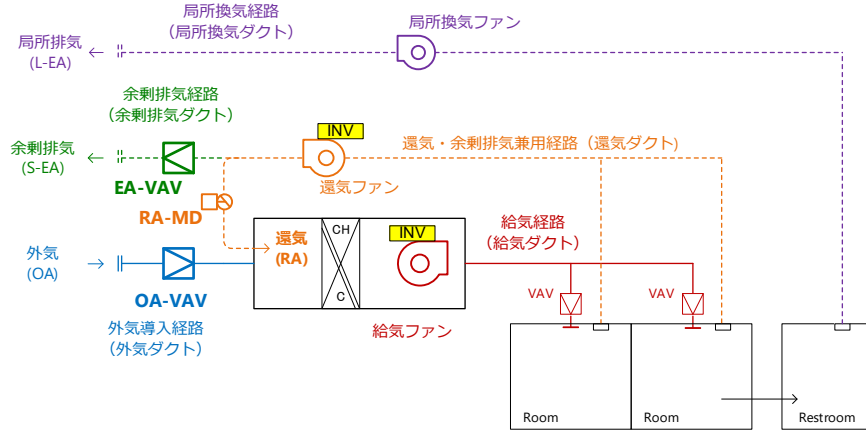
Type-A は還気ファンがあるため還気風量をゼロにはできないという制約がある。このため、余剰排気量 V_{EA} は、還気ファンが最小回転数で運転されるとき最小風量 $V_{R,min}$ （サージングが生じない下限）より大きくなくてはならない。つまり、

40

$$V_{EA} \geq V_{R,min}$$

...(5.1.1)

なお、局所（第3種換気）排気量は $V_{VE} = V_{OA,AHU} - V_{EA}$ となるが、上記した条件をもとにして、必要な換気量 V_{VE} が確保できることをチェックすることが必須である。なお、 $V_{OA,AHU}$ は定格取入外気量。



5

次に、VAV ユニットの最小風量設定値、各ファンの最小風量などを規定する3種類の方法を説明する。

【例-A1】 各室の必要外気量を基に最小風量設定値を規定する方法

空調機で取り入れる外気量を VAV ユニットの定格風量で按分して各 VAV ユニットの最小風量設定値を定める方法。

10 <手順>

- 1) 在室人数などから各室 (k) の必要外気量 $V_{OA,k}$ を定める。
- 2) トイレやパントリーなどの局所排気量 V_{VE} を定める。
- 3) 各室の必要外気量 $V_{OA,k}$ の全室合計を空調機で取り入れる外気量とする。つまり $\sum_{all} V_{OA,k} = V_{OA}$ 。
- 4) 各 VAV ユニット (k) の最小風量設定値 $V_{VAV,min,k}$ を次式で定める。

15

$$V_{VAV,min,k} = V_{OA} \times \frac{V_{VAV,max,k}}{\sum_{all} V_{VAV,max,n}} \quad \dots(5.1.2)$$

ここで、

20

V_{OA} : 空調機で取り入れる外気量 ($= \sum_{all} V_{OA,k}$) [m³/h]

$V_{VAV,max,k}$: VAV(k)の 定格風量 (=設計風量) [m³/h]

$\sum_{all} V_{VAV,max,k}$: 上記の全室合計値 (=空調機の定格風量 $V_{r,AHU}$) [m³/h]

ただし、最小風量設定値 $V_{VAV,min,k}$ は VAV ユニット供給限界最小風量より小さくはできないので、

$V_{VAV,min,k} \leq V_{VAV,L min,k}$ ならば $V_{VAV,min,k} = V_{VAV,L min,k}$ とする。

25

ここで、 $V_{VAV,L min,k}$: VAV ユニット供給限界最小風量 [m³/h]

注) 単一ダクト方式の VAV システムの場合、各室の滞在人員に対応した必要新鮮空気量を配分することはできない。
(3.5 節参照)

本設計法では、他室と比較して在室人員密度が高い室では外気量が不足する。これを解消するためにその室の最小風量設定値を増やすように設計図書で指示し、実際にそのように調整されると、VAV ユニ
ットから風量不足の信号がでて不必要に給気温度リセット制御が働き不具合状態になる確率が高くなる。
5 もしも、人員密度の高い室で確実に外気量を担保したい場合は、VAV ユニットに頼らず、別の外気導入
機構を付加するなどの方策を考慮する必要がある。

5) 給気ファンの最小風量 $V_{S,min}$ は下式で決まる。

$$V_{S,min} = \sum_k^{all} V_{VAV,min,k} \quad \dots(5.1.3)$$

10 6) 還気ファンの最小風量 $V_{R,min}$ 、余剰排気量 V_{EA} は冒頭(1)で記した方法で定める。

なお冒頭(1)では、サージング域に入らない最小風量 $V_{R,min}$ をファン特性から求めるとしたが設計段階
では以下のような便法で定めてもよい。

15 一般にファンの最小回転数は 30%程度とされる。そこで、この運転でサージング域に入るのは風量の
1/3 程度であると仮定し、最小風量 $V_{R,min}$ を定格風量 $V_{R,max}$ の $1/3 \times 1/3 = 1/9 \approx 1/10$ と概算する※1。つま
り、

$$V_{EA} = V_{R,min} = 0.1 \times V_{R,max} \quad \dots(5.1.4)$$

20

ここで、

$V_{R,max}$: 還気ファンの定格風量 [m3/h]

V_{EA} : 余剰排気量 (個定値) [m3/h]

$V_{R,min}$: 最小回転数時にサージングが起きないと想定される最小風量 [m3/h]

25

7) 局所排気ファンの風量 V_{VE} は固定値とする。なお、取入外気量 V_{OA} 、余剰排気量 V_{EA} との間には次の
ような関係がある。

$$V_{VE} = V_{OA} - V_{EA} \quad (\text{固定値}) \quad \dots(5.1.5)$$

30

注) 本方法により設計しても、室の熱負荷が減って VAV ユニットが on-off 運転の状態になると外気
導入量が不足気味の運転になることがある。

35 【例-A2】 同一空間ゾーン内の必要外気量を基に最小風量設定値を規定する方法

A1 の方法では VAV ユニットごとの必要外気量で最小風量を規定したが、壁で仕切られた室 (同一空間
ゾーンと呼ぶ) に複数の VAV ユニットがある場合は、ゾーンが必要とするトータルの外気量を基にした
制御ができる※。実際、ゾーン内に複数の VAV ユニットがあるのが一般的である。この場合の最小風量
の決め方を以下に説明する。

40 ※) あるメーカーでは、この制御を風量総和制御と呼んでいる。

<手順>

- 1) 同一空間ゾーン (k) の在室人数などからゾーンの必要外気量 $V_{OA,k}$ を定める。
- 2) 同一空間ゾーン (k) の必要外気量 $V_{OA,k}$ の全ゾーン合計を空調機で取り入れる外気量とする。つまり、

$$V_{OA} = \sum^{all} V_{OA,k} \quad \dots(5.1.6)$$

- 3) 各 VAV ユニットの最小風量設定値は VAV ユニット供給限界最小風量とする (ただし、設計図で風量を完全閉止できるようにも指示する)。

$$V_{VAV,min,k} = V_{VAV,L,min,k} \quad \dots (5.1.7)$$

- 4) 給気ファンの最小風量 $V_{S,min}$ と還気ファンの最小風量 $V_{R,min}$ の定め方は【例-A1】と同じである。

本方法の長所は、

- ・ VAV ユニットの最小風量設定値が VAV ユニット供給限界最小風量にできるので風量制御範囲が広くでき室温の制御性が良くなる。
- ・ ゾーンの熱負荷が減って複数の VAV ユニットが on-off 運転になっても (閉止運転する率が高くなっても) ゾーン全体では外気供給量が確保できる。
- ・ ファンの最小風量は A1 の方法よりも小風量で運転できる確率が高くなり搬送動力の省エネになる。
- ・ 局所的な過冷や過熱という不具合が減らせる。

【例-A3】 室の最小空気循環量を基に最小風量設定値を規定する方法

室空気の停滞感をなくすために、例えば、最小風量設定値を定格風量の 50% などとして定める方法。本方法の場合、循環空気量が多くなるので、【例-A1】のように還気ファンの最小風量を考慮する必要はほぼ生じない。

<手順>

- 1) 室空気の停滞感をなくすために、各 VAV ユニット (k) の最小風量設定値 $V_{VAV,min,k}$ を定格風量比 $p_{VAV,k}$ をもとにして規定する。つまり、

$$V_{VAV,min,k} = p_{VAV,k} \cdot V_{VAV,max,k} \quad \dots (5.1.8)$$

ここで、 $p_{VAV,k}$: 室空気の停滞感をなくすための風量比

- 2) 余剰排気量 V_{EA} は下記となる。

$$V_{EA} = V_{OA} - V_{VE} \quad (\text{固定値}) \quad \dots(5.1.9)$$

本方法は、VAV ユニットの風量制御範囲が狭くなるため室温の制御性が悪くなり、かつ最小風量が大

5

5

5



10

10

15

- 15

15

20

- 20

20

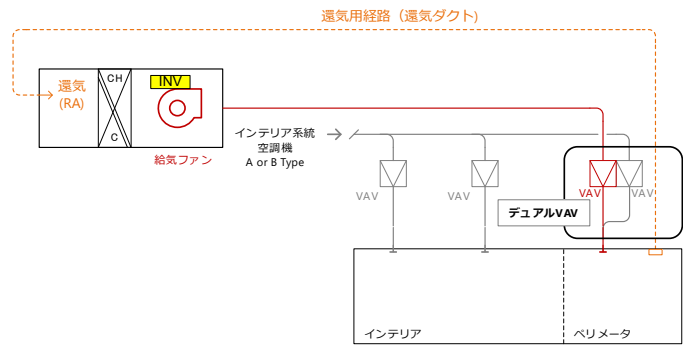
- 25

25

なお、最小回転数の運転時にこの最小風量でもサージング域に入らないかチェックする。

(3) Type-C の例

Type-C は給気ファンの回転数が最小で運転される場合にサージングが起きない最小風量 $V_{AHU,min}$ を定め、それを各 VAV に配分して VAV ユニット最小風量設定値を定める。



<手順>

1) 各 VAV ユニット (k) の最小風量設定値 $V_{VAV,min,k}$ を次式で定める。

$$V_{VAV,min,k} = V_{S,min} \times \frac{V_{VAV,max,k}}{\sum_n V_{VAV,max,n}} \quad \dots(5.1.12)$$

ただし、最小風量設定値 $V_{VAV,min,k}$ は VAV ユニット供給限界最小風量より小さくはできないので、

$$V_{VAV,min,k} \leq V_{VAV,Lmin,k} \quad \text{ならば} \quad V_{VAV,min,k} = V_{VAV,Lmin,k}$$

2) A2 同様、室に複数の VAV ユニットがある場合は最小風量設定値を VAV ユニット供給限界最小風量とすることができる (風量総和制御)。

5.2 給気ダクト系とファンの設計

5.2.1 VAV ユニットの選定と要求事項

VAV 空調システムの核となる VAV ユニットの能力と制御仕様を、以下で述べる方法により決める。なお、本書では制御機構も含めて VAV ユニットと定義する。

【能力】

V_{max} : 定格風量 [m³/h (CMH)]

r_{min} : 運転可能な最小風量比 (VAV ユニット供給限界最小風量に対応) [—]

つまり、 $r_{min} V_{max} = V_{VAV,Lmin,k}$

注) この比で求めた風量は機器仕様としての最小風量であり、設計最小風量は 5.1.3 節で定めた風量となるので注意を要する。

$\Delta p_{VAV,min} / \Delta p_{VAV,max}$: 適正に稼働できる最小／最大の稼働前後静圧 [Pa]

注) VAV ユニットの前後静圧がこの圧力範囲にあれば定格風量から VAV ユニット供給限界最小風量まで安定して給気できる。

【制御機能仕様】

設計図書には下記の要求事項を明記する。なお、制御機構は VAV ユニットメーカーではなく制御機器メーカーの製品が使用されることが一般的であるが、この指示を明確にする。

- ・ 制御機構と制御方法： VAV ユニットには制御機構を付属すること、室温とその設定値を入力として室温を制御 (一般には PI 制御) することを明記。
- ・ 全閉機能： 空調停止信号により VAV ユニットの全閉にする機能を有することの明記。
- ・ 出力信号： 次のような出力信号を発信する機能を有することを明記。
 - a. VAV ユニットの「全開信号 (100%)」と「適正開度信号 (一般に 85～100%未満をいう)」

をリミットスイッチの出力として発信。

b. 室温の現在値と室温設定値の発信。

c. 演算値としての風量設定値と計測された実風量の発信。

5 (1) 定格風量

VAV ユニットの定格風量（最大給気風量） $V_{\max}$ は対象室の顕熱負荷をもとに下式で定める。ただし、冷暖房負荷共に生じる室であれば、冷房時の $V_{\max,cool}$ と暖房時の $V_{\max,heat}$ の両方を求めて大きい方を採用する。

$$10 \quad V_{\max} = 3600 \times \frac{q_s}{\rho c_{p,a} (T_{set} - T_s)} \quad \dots \quad (5.2.1)$$

ここで、

	$V_{\max}$:	定格風量	[m ³ /h (CMH)]
	T_{set} :	設定室温	[°C]
	T_s :	給気温度	[°C]
15	q_s :	室の顕熱負荷	[kW]
	$c_{p,a}$:	空気の比熱	[kJ/kg・K]
	ρ :	空気密度	[kg/m ³]

(2) VAV ユニット供給限界最小風量

VAV ユニット供給限界最小風量とは VAV ユニットが安定的に供給できる下限風量をいい、メーカーにも
20 よるが、一般に機器定格風量の 10～20%程度である。この最小風量は物理的に供給可能な最小風量では
なく制御可能な下限風量であり、これはユニットの風速センサが精度よく計測できる最低風速（1.0～
1.5m/s 程度）と対応している。

VAV ユニットのサイズは規格化されており、ある規格に対して定格風量の範囲が定められている。従
って、記載されている範囲を満足するからといって大きめサイズのユニットを選ぶと供給限界最小風量
25 が相対的に大きくなって制御性が悪くなるので注意を要する。前項で述べたように、冷房時と暖房時では
要求する定格風量が異なるため、例えば、暖房時の定格風量が冷房時より小さければ、冷房時より暖
房時の最小風量比が大きくなり制御性が悪化する。従って、定格風量に対する供給限界最小風量の比が
できる限り小さくなるように選定することが肝要である。

30 【参考】

一般に、機械のメカニズムとして決まる VAV ユニット供給限界最小風量とは別に、制御ソフトで最小風量設定値を
パラメータで設定することがある。つまり VAV の最小風量は機械的に決まる最小風量で運転されとは限らないこと
に注意がいる。

(3) VAV ユニット前後の稼働最小差圧

35 VAV ユニットはユニットの入口静圧（正確にはユニット前後の静圧差）があるレベル以下になると風
量が適切に制御できなくなる。この最小レベルの前後差圧を稼働最小差圧 $\Delta p_{VAV,min}$ という。現在市場で
供給されている VAV ユニットの稼働最小差圧は 20Pa 程度と過去に比べて相当に小さいが、省エネのため
にはできるだけ小さな稼働最小差圧の VAV を選択するようにする。

(4) VAV ユニット前後の稼働最大差圧と騒音

VAV ユニットは、風量を指示値に制御するために前後差圧が大きくなると内部のダンパが絞られるので騒音レベルが増す。騒音レベルに制約のある室の場合、VAV ユニットの前後に生じる設計最大差圧 Δp_{VAV} に対する騒音発生量を VAV の仕様から見出してダクト系の騒音設計を行う（関連事項を次節で記す）。

VAV の設計仕様としては、設計最大差圧 $\Delta p_{VAV, \max}$ と最大騒音レベル（これ以下であればいいという値）を記すようにする。

(5) VAV ユニットの全開信号と適正開度信号

VAV ユニットの機構には種々あるが、基本的には流れを阻止するダンパなどを制御モータで操作して風量を制御している。風が通る断面積が最大の状態が VAV 開度 100%、断面積がゼロで風が流れない状態が VAV 開度 0% である。できるだけ大きな開度で運転するのが省エネ上好ましいが、開度が 100% になると制御不能の状態になるため、一般に、開度が 85% 程度以下が適正な制御可能域とされる。この最大開度を適正開度と呼ぶ。

VAV ユニットは全開信号（100% で on）と適正開度信号（一般には 85～100% で on）の 2 つの開度をリミットスイッチなどのセンサで感知し on/off 情報として出力する。この 2 つの信号は VAV 制御に必須のため、「適正開度と全開信号の on/off 出力を設ける」という指示を設計図に記す。

(6) VAV ユニットの制御

VAV の制御器（コントローラ）は、室内温度と設定値との差 ΔT をもとにして、一般には PI 制御により VAV ユニットへ風量指示値を出力する。この制御器の内部には、次の図表のように、 ΔT から風量設定値に変換する温度制御モジュールと、この値を用いてダンパ開度の制御指示を行う風量制御モジュールがあり、この 2 つが連携して制御をおこなっている（これをカスケード制御という）。第 2 編で述べる初期調整作業の試験では指示する風量を直接与えて VAV ユニットの運転することが必要なため、これが可能な制御機構を設けるように設計図で指示する。

【参考：VAV ユニット制御の詳細】

対象装置	制御項目	制御概要
VAV ユニット	室内温度制御	室内温度制御(PID 制御)の出力値 (0-100%) により要求風量 (=設定風量) を決定し、これにより風量制御 (PID 制御) をするカスケード制御。すなわち、室内温度制御がマスタ側、風量制御をスレーブ側とするカスケード制御であり、これで室内温度が室内温度設定値になるように風量が制御される。本書ではそれぞれ以下のように呼ぶ。 ・マスタ側の制御モジュール：「VAV ユニット温度制御モジュール」 ・スレーブ側の制御モジュール：「VAV ユニット風量制御モジュール」 風量制御は、この風量目標値に対して、VAV ダンパへの開指令と閉指令の 2 つの DO(Digital Output)で制御する。

特にダクト系が複雑に分岐しているとどれが最大／最小となるユニットかが直感的に判定できず、複数ユニットについて圧力計算が必要になることもある。

最大圧損が生じる VAV ユニット (k) までのダクト圧損 $\Delta p_{k,duct}$ にユニットの稼働最小差圧 $\Delta p_{VAV,min}$ (例えば 20Pa) を加えた圧力 ($\Delta p_{s,k,duct}$) をダクト系の定格圧損 $\Delta p_{R,s,duct}$ とする。つまり、

$$\Delta p_{R,s,duct} = \max_k (\Delta p_{s,k,duct}) \quad \dots (5.2.2)$$

ここで、

$$\Delta p_{s,k,duct} = \Delta p_{VAV,min} + \Delta p_{k,duct}$$

$\Delta p_{k,duct}$: VAV ユニット (k) までのダクト圧損

$\Delta p_{VAV,min}$: VAV ユニットの稼働最小差圧

(2) VAV 発生騒音対策

定格風量と設計差圧での発生騒音を VAV メーカーの仕様から求めダクト騒音対策が必要かどうかを判定する。事務室の空調であればダクトの騒音対策が不要なことも多い。騒音対策が必要と判断されればダクト系の騒音設計を行い、適切な減衰量をもつ消音器や消音エルボウなどを設ける。

騒音の発生を抑えるために、各 VAV ユニットの手前に VD を設けて抵抗を加え VAV ユニットに過大な前後差圧が生じないようにするという設計がなされることがある。しかしこの対策は、風量が少なくなると VD の抵抗が減るため有効ではなく、風量が多い定格時には VD 自体が騒音の発生源となり、圧損も増えて省エネ上の弊害があるため避けるべきである。

注) VAV ユニットの前後差圧が大きすぎると、騒音問題とは別に適切な制御ができなくなることも考えられる。ただし現在市販されているユニットではこのような限界はほぼないといってよい。前後差圧が通常よりかなり大きい (約 800Pa 以上) 場合には VAV メーカーに確認する必要がある。

5.2.3 給気ファンの選定

ファンの仕様は最大給気風量とダクト系の最大圧損 $\Delta p_{R,s,duct}$ により選定する。なお、最大給気風量は、ダクト設計 (5.2.2) で用いた各 VAV ユニットの定格風量の和 $V_{s,VAV} = \sum V_{max}$ ではなく、当該系統の熱負荷の合計 $q_{s,all}$ をもとに式 (5.2.1) によって見出した次式の風量 $V_{s,load}$ とする。つまり、過大なファンを選定しないようにするため、最大風量は当該系統の同時発生熱負荷の最大値から見出すのが適切である。

$$V_{s,load} = 3600 \times \frac{q_{s,all}}{\rho c_{p,a} (T_{set} - T_s)} \quad \dots (5.2.3)$$

ただし、この風量はダクト圧損の計算に用いる風量よりも少ないので、正確にはダクト圧損は式 (5.2.2) で計算した値よりは小さくなるが安全側の設計としてこれを無視する。

通常、室内と外気の圧力が等しいという条件で設計するので、ファンの必要静圧 (定格静圧) $\Delta p_{R,s,fan}$ は式 (5.2.2) で定めたダクト圧損 $\Delta p_{R,s,duct}$ に、空調機の定格機内抵抗 $\Delta p_{R,AHU}$ や外気取入ダクトの圧損 $\Delta p_{OA,duct}$ などを加えて定める。

空調機の機内抵抗にはエアフィルターの圧損を含む。フィルターの圧損は運転中に徐々に増え、一般

には初期圧損の2倍になればフィルターの交換時期とされる。そのため、ファンの必要静圧を求める際には、その中間として、フィルター圧損を初期圧損の1.5倍とすることが多い。なお、外気取入ファンを別途設ける場合は外気取入ダクトの圧損 $\Delta p_{OA,duct}$ を加えない。

室内と外気の圧力を等圧とせずに、室内に若干の正圧を与えて廊下などの非空調ゾーンへの排気をパスしたり、汚染ゾーンからの漏気を防止したりする場合には、その正圧分 Δp_{room} を加えて $\Delta p_{R,s,fan}$ とする。以上からファンの必要静圧（定格静圧）は下記となる。

$$\Delta p_{R,s,fan} = \Delta p_{VAV,min} + \Delta p_{R,s,duct} + \Delta p_{R,AHU} + \Delta p_{OA,duct} + \Delta p_{room} \quad \dots (5.2.4)$$

上記した定格風量 $V_{R,s,fan} (=V_{s,load})$ と定格静圧 $\Delta p_{R,s,fan}$ によりファンを選定するが、VAV システムでは風量が定格値以下で運転されることが大半なので、ファンの選定では余裕を見ないようにすることが重要である。

5.2.4 給気ファンの最大・最小回転数

インバータで回転数制御されるファンでは、商用周波数より高い周波数で運転する回転数を定格とすることがある。一方、最小回転数は円滑な回転が阻害されない下限が設けられている（例えば定格回転数の30%程度、あるいはインバータの周波数で20Hzなど）。

通常、最小回転数以下に回転数を下げようとする制御要求が生じることは少ないが、最小回転数を大きく設定し過ぎるとVAVで風量を絞ってもファンは省エネにならず、かつサージングが起きる可能性もある。従って、できるだけ最小回転数を小さくできるファンを選び、それを設計仕様として記すようにする。

【参考】

- ・ ASHRAE の基準では最低回転数を定格回転数の10%としている。

5.2.5 ファンの電動機・インバータの効率

ファン効率だけではなく、付属する電動機とインバータの効率も搬送動力に与える影響が大きいので高効率な機器を選択するようにする。いずれも部分負荷時に効率が下がるが、現在、この情報提供が少ないため定格効率を設計図書に記すようにする。

注) 現在進行形で部分負荷時の効率に関する規格化が国際的に進展している。

5.3 ファン回転数と給気温度の制御

給気ファンの回転数制御と空調機の給気温度の制御は搬送動力の省エネに大きく関わる。本節ではこの2つの制御に関して設計で配慮すべき点につき解説する。

5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線

理論上、ダクト系の圧損はほぼ風速の2乗に比例するので、給気量が減ればファンの必要圧力は急激に減る。また、ファンの供給風量は各VAVユニットの要求風量の合計で決まるので、ファンの回転数制御は風量と必要な静圧を維持するように制御するのが省エネ上最適である。

VAV 空調システムが登場した当時は、ファンの吐出位置や主ダクト長の約2/3の位置での静圧を一定にするように制御していた。しかし最近では、圧力ではなくVAVユニットへの風量指示情報を用いて演算し、最適かつ合理的な回転数制御をするようになっていく。

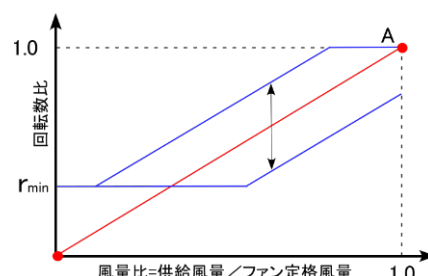
設計者はこの制御アルゴリズムを理解した上で「3. VAV 空調システムの省エネとその課題」で述べ

たような不具合が生じないように省エネ設計をする必要がある。

【考察】

(1) 現在の一般的な回転数制御方法

ファン動力の省エネにおけるキーポイントは、「風量の増減に応じてどのように回転数を制御するか」である。現在、一般には右図のように、要求風量比に対して回転数比（＝インバータ出力）を一意に決める関係式（右図赤線）により回転数を制御している。この制御方法はフィードバック制御に対してフィードフォワード制御と呼ばれ、この線を通称フィードフォワード線（以下 FF 線）と呼ぶ。



要求風量が定格値（最大）のとき回転数比は 100%*である（A 点）。後述するように、FF 線は、原理的には A 点と原点を通る直線ではないが、下記のような補正制御が働いて任意の回転数に制御できるため、原点を通る直線を基準線（赤線）とするのが一般的である。

ところで、赤線上の回転数比で運転されていれば全ての VAV ユニットに対して必要十分な差圧が満たされる訳ではない。なぜならば、ダクト内の圧力は各ユニットの風量に依存して多様に変化するため過少も過大も生じる。そこで、赤線を基準にして回転数を上下に補正する制御を付加して必要十分な静圧となるように制御する。これは一般に「静圧過不足補正制御」などと呼ばれる。

注）設計では定格風量時に回転数比 100%になるとしていいが、一般に、ファン能力には余裕があるので実運転では 100%以下の運転で定格風量となる。これについては初期調整の章で解説する。

【静圧過不足補正制御】

静圧過不足制御（回転数の補正制御）とは、全ての VAV ユニットについて「全開信号（開度 100%で on、100%より小で off）」と「適正開度信号（開度≧85%以上で on、それより小さいと off）」という 2 つの on/off 信号を用いて次のような判定を行い、約 1 分おきに静圧を補正（＝回転数の補正）する制御をいう。

- 1) 圧力不足： 全開信号が on になる VAV ユニットが 1 台でもあればファンの静圧不足と判定し、現在の回転数を少し（2～5%）増す。つまり圧力を上げて、全てのユニットの全開信号が off になる方向に圧力を補正する。
- 2) 圧力過剰： 全ての VAV ユニットの適正開度信号が off（全て適正開度以下）であれば静圧過剰と判断して回転数を少し（2～5%）減じる。つまり圧力を下げて、どれかの VAV ユニットの適正開度信号が on（適正開度以上）になる方向に圧力を補正する。
- 3) 圧力適正： 全ての VAV ユニットの全開信号が off で、かつ最低 1 台のユニットの適正開度信号が on（適正開度以上）であれば回転数の補正はしない。
- 4) ただし、補正は回転数の上下限閾値の範囲を超えない範囲とする。

右図はこの判定の概念図である（あるメーカーの資料による）。この制御方法の欠点は、「何らかの不具合が起きて回転数がどんどん増しても（圧力が増しても）VAV の風量は適切に制御されるので室の室温制御には影響が生じず不具合に気づかない」という非省エネな運転状態が放置される点である。なお、回転数が過大になる原因は後述する給気温度リセット制御とも関係している。



通常、静圧過不足補正制御は、上図赤線の上下に画いた 2 本の青線で挟まれた範囲内に限定されるが、この範囲を論理的に決めることは難しく、過大な範囲が設定されて非省エネな運転が放置されていることも多い。

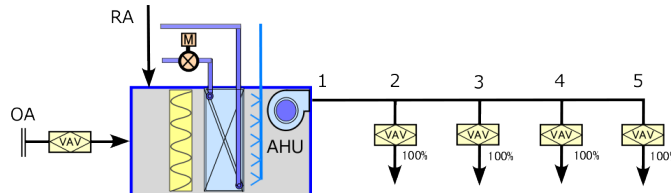
ここで、要求風量とファン静圧の関係について更に考察する。

(2) 風量とファン回転数に関する考察

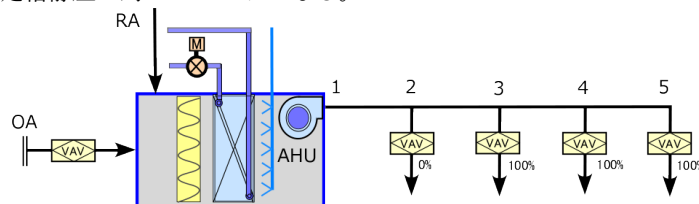
A. 圧損の考察 (1)

簡単なダクト経路の例（下図）をもとにして、VAV ユニットへの風量配分が変わる場合の圧損について考察する。

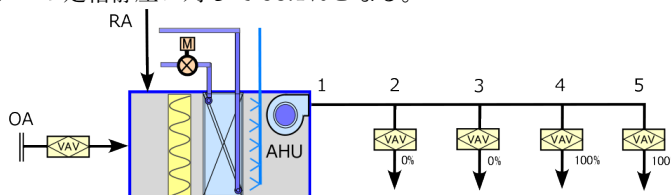
1) ファンが最大風量、すなわち定格風量 $V_{R,s, fan} (= V_{s, load})$ で運転されるときに必要な静圧は前記したファンの定格静圧 $\Delta p_{R,s, fan}$ となる。ダクト圧損は主ダクトのみを考え区間当たり全て 100Pa とする。末端 VAV ユニットまでのダクト圧損 $\Delta p_{s, duct}$ は 400Pa である。これに稼働最小差圧 $\Delta p_{VAV, min}$ 、機内圧損 Δp_{AHU} 、外気取入 VAV などの圧損 $\Delta p_{OA, duct}$ を加算した値がファンの定格静圧 $\Delta p_{R,s, fan}$ となる。例えば、稼働最小差圧 $\Delta p_{VAV, min}$ を 50Pa、空調機の機内抵抗 Δp_{AHU} を 300Pa、外気取入 VAV+ダクトの圧損 $\Delta p_{OA, duct}$ を 100Pa（外気量は固定とするので常に一定とする）、とすれば、合計の圧損は 850Pa（ $\Delta p_{R,s, fan}$ = ファンの定格静圧）となる。



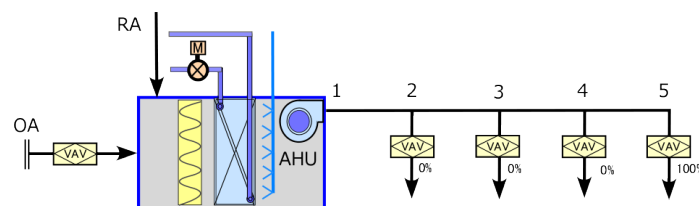
2) 次に供給風量が定格風量の 75% になった場合を考える。最大の必要静圧は末端に近い 3 つの VAV ユニットの風量が 100% のときに生じる。このときは下図のような風量配分となり、圧損は、区間 (5-4)=区間 (4-3)=区間 (3-2)=100Pa、区間 (2-1)= $100 \times (3/4)^2 = 56.3\text{Pa}$ となり、合計で 356.3Pa で定格時の 89.0% となる。空調機の機内抵抗は $300 \times (3/4)^2 = 168.8\text{Pa}$ 、外気取入ダクト+VAV の圧損は 100Pa、稼働最低静圧は不変で 50Pa なので、合計圧損は 675.1Pa となり、ファンの定格静圧に対して 79.4% となる。



3) 次に風量がファンの定格風量の 50% になった場合を考える。最大の必要静圧は末端に近い 2 台のユニットの風量が 100% になるときに生じる。このときは下図のような風量配分となり、圧損は、区間 (5-4)=区間 (4-3)=100Pa、区間 (3-2) = $100 \times (2/3)^2 = 44.4\text{Pa}$ 、区間 (2-1)= $100 \times (1/2)^2 = 25\text{Pa}$ となり、合計で 269.4Pa で定格時の 67.4% となる。空調機の機内抵抗は $300 \times (1/2)^2 = 75\text{Pa}$ 、外気取入ダクト+VAV の圧損は 100Pa、稼働最低静圧は不変で 50Pa なので、合計圧損は 494.4Pa となり、ファンの定格静圧に対して 58.1% となる。



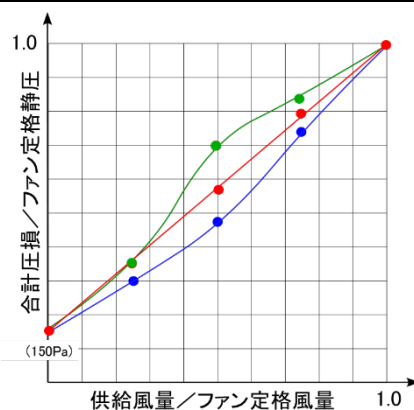
4) 更に風量が減りファンの定格風量の 25% になった場合を考える。この場合、下図のように圧損は、区間 (5-4)=100Pa、区間 (4-3)= $100 \times (1/2)^2 = 25\text{Pa}$ 、区間 (3-2)= $100 \times (1/3)^2 = 11.1\text{Pa}$ 、区間 (2-1)= $100 \times (1/4)^2 = 6.3\text{Pa}$ となり、合計で 142.4Pa で定格時の 35.6% となる。空調機の機内抵抗は $300 \times (1/4)^2 = 18.8\text{Pa}$ 、外気取入ダクト+VAV の圧損は 100Pa、稼働最低静圧は 50Pa なので、合計圧損は 311.2Pa となり、ファンの定格静圧に対して 36.6% となる。



以上をまとめると、

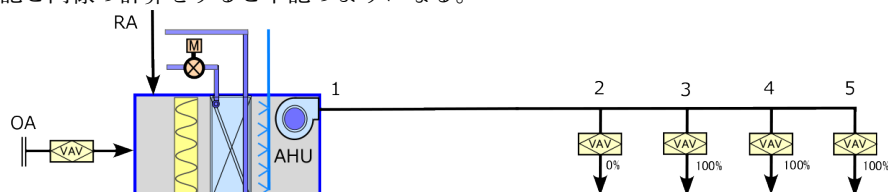
風量		圧損	圧力比
100%	→	850Pa	100%
75%	→	575Pa	79.4%
50%	→	494Pa	58.1%
25%	→	311Pa	36.6%

この結果を、横軸に風量比、縦軸に圧力比（合計圧損／ファンの定格静圧）としてグラフ化すると右図（赤線）のようにほぼ線形の関係となる。なお、風量ゼロに当たる切片 150Pa は、室への給気 VAV と外気取入用の VAV ユニット＋ダクトが必要とする圧損の和である。



B. 圧損の考察 (2)

次に、常に上記した赤線のような線形関係になるかどうかを確認するために、区間(1-2)のダクト長さが 4 倍（下図）の場合について上記と同様の計算をすると下記ようになる。

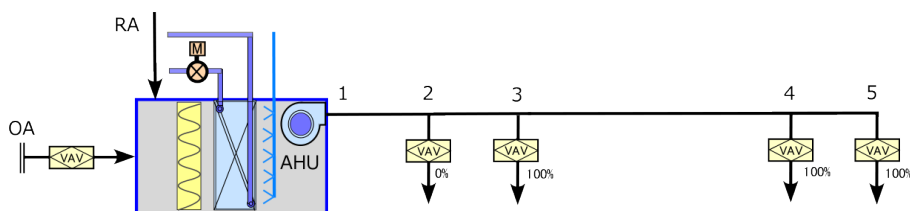


風量		圧損	圧力比
100%	→	1150Pa	100%
75%	→	844Pa	73.4%
50%	→	569Pa	49.5%
25%	→	330Pa	28.7%

この関係は上図左の青線で示すように線形関係ではなくなる。

C. 圧損の考察 (3)

更に、区間(3-4)のダクト長さが 4 倍（下図）の場合について上記と同じ計算をすると下記のようになり、この関係は上図緑線となる。

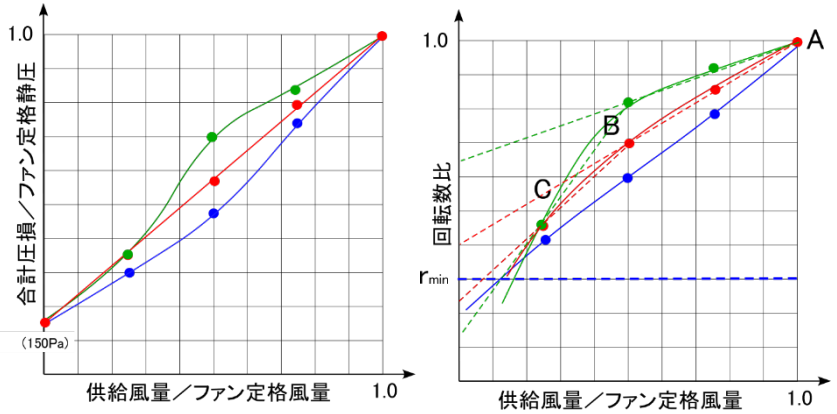


風量		圧損	圧力比
100%	→	1150Pa	100%
75%	→	975Pa	84.8%
50%	→	794Pa	69.0%
25%	→	386Pa	33.6%

以上から、上のグラフで示した赤線のように線形に近い関係になるか、青線のように赤線の下に凸になるか、あるいは緑線のように赤線の上に凸になるかはダクト経路や各ユニットの風量によって様々になる。

ここで注目すべきは、上記のようにして求めた圧力（比）はある供給風量に対する最大静圧であり、「必要な風量を供給するのに、これ以上の圧力は不要」という点である。つまり上の検討では、ある風量に対して必要な最大の搬送動力となる結果を求めたことになる。

以上は、風量比と圧力比の関係であるが、制御に必要なのは風量比から直接的に「回転数比」を見出すFF線である。圧力と回転数の関係は線形ではなくファン特性によって様々となる。右図（右）は、ある実ファンの特性を用いてこの関係を試算した例である（ファン特性を見出すためシミュレーションモデルを用いた）。これから判るように風量比と回転数比の関係は直線ないし上に凸の関係となる（右図（左）は再掲）。つまり FF 線は、どの風量比であっても曲線で定められる回転数比を超えないような直線となる（右図（右）の緑や赤の点線のような直線）。



上記の考察で判るように、一般に、給気風量比から回転数比を求めるフィードフォワード線（以下 FF 線）の形状はダクト経路や各 VAV ユニットの給気量に依存した「曲線」になる。しかし、実システムの制御アルゴリズムでは FF 線を直線で定義するので、次のようにして近似直線（1 次式）を定め、この式の係数 a 、 b を設計図の自動制御図に記載する。設計で FF 線の係数を決めることが必要なのは、後述する

ように、設計段階で搬送エネルギーの算定を行うために必須となるからである。なお、竣工時の初期調整では、設計で定めた係数を制御パラメータの初期値として与え、調整をしながら実システムに合うような係数に修正を加えるものとする。その結果、一般に、消費エネルギーは設計時より少なくなる。

10 【FF 線の求め方】

$$n_s = a r_s + b \quad \dots (5.2.4)$$

n_s : 回転数比

r_s : 給気風量比 (=要求給気量/ファン定格風量)

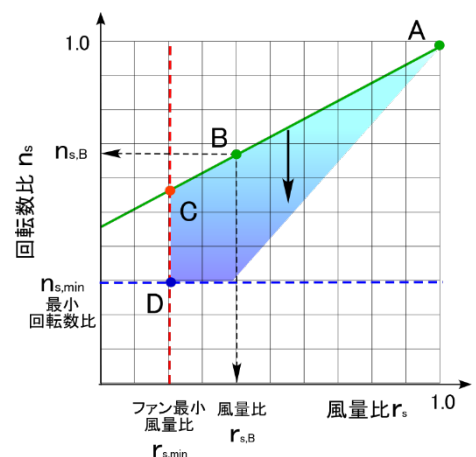
1) 定格風量比における回転数比を 1.0 とし、右端の点 A を定める。

2) 風量比が 40% ($=r_{s,B}$) の場合のダクト圧損を、ダクト末端の VAV ユニットの順に定格風量を与える方法で配分して求める（先詰めによる圧損計算と呼ぶ）。次ぎに「5.2.3 給気ファンの選定」で説明した方法で空調機ファンの必要静圧を求め、ファンの特性曲線を用いてこの静圧と風量に対する回転数比を見出し、この点を B とする。

3) ただし、もしも 5.1.3 で定めたファンの最小風量比が 40% 以上であれば、その風量比 $r_{s,B}$ を用いる。

4) また、交点 C がファンの仕様で指定された最小回転数比 $n_{s,min}$ を下回れば直線 AD を FF 線とする。つまりこの場合は、B 点を D 点とする。

5) 以上から式 (5.2.4) の係数は下式となる。



$$a = \frac{1 - n_{s,B}}{1 - r_{s,B}}, \quad b = \frac{n_{s,B} - r_{s,B}}{1 - r_{s,B}} \quad \dots (5.2.5)$$

注)

a. 風量比 40%の点を用いて FF 線を定める理由は、上記の【考察】の後段で示した上に凸の曲線を直線近似するには、この方法で定めた直線で決まる回転数以下であれば風量不足が生じないという実システム計測による経験知によるもので、合理的に決定したものではない。

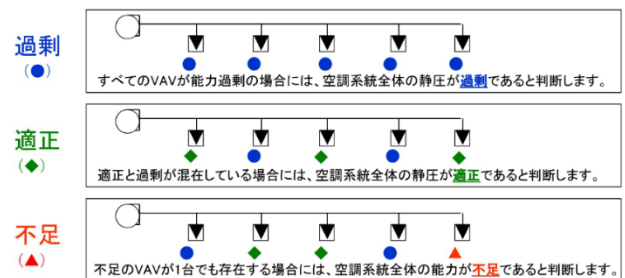
5 b. 一般的に、ファンの特性曲線は定格回転数に対してしか提供されないので、この場合はファンのシミュレーションモデルを用いて見出す必要がある。このアプリケーションは別途提供する。

FF線により、ある給気風量比に対して回転数比を定めれば、原則、どんな風量で各 VAV ユニットが稼働しても必要な圧力が常に満たされることが保証される。つまり必要十分な上限回転数比となり、ファンのエネルギー消費量はこれにより決まる値以上にはならない。そのため、例えば空調機に近くダクト圧損が少ない位置の VAV ユニットの配分風量が多いときは、この回転数では圧力が余剰となるので「静圧過不足補正制御」により回転数を下げる方向に補正され（つまり省エネの方向に補正され）、過大な回転数で運転されるという非省エネな運転ではなくなる。なお、上図の青いグラデーション範囲は回転数の運転領域を示している。

15 注) 現在一般に行われている静圧過不足補正制御は回転数を増す方向にも減らす方向にも制御されるため、前述したように何らかの不具合が発生すると過大な回転数で運転され続けることがある。これを避けるため、本法の補正方法では風量比に対する回転数比の上限を FF 線で規定して無駄に回転数が増すことを防ぐようにしている。

20 ■ 静圧過不足補正制御における特記事項

上述の【参考】において回転数の補正方法を説明するなかで、「他の室と比べて熱負荷が異常に大きい室があり VAV ユニットが全開になってしまうと、それが起因して回転数が徐々に過大になってゆく」という不具合発生の可能性のあることを指摘したが、実システムでこの不具合が確認されている。そのため、特殊な熱負荷が生じる室は同一システムにしないように配慮して設計することと、どうしてもそのような可能性がある室の存在が避けられないことが考えられるならば、「その可能性がある VAV ユニットの静圧過不足補正制御の判定対象から除外する」という特記を設計図に記すことも重要である。なお、このような除外によって当該室は風量不足となり室温が適正に制御されないリスクがあることを発注者に説明しておかなくてはならない。



【特記の例】(静圧過不足補正制御に関わる自動制御図において)

室Aは熱負荷が対象ゾーンの平均的な熱負荷性状とは若干異なるため静圧過不足補正制御の判定対象から除外すること。

35

5.3.2 給気温度制御

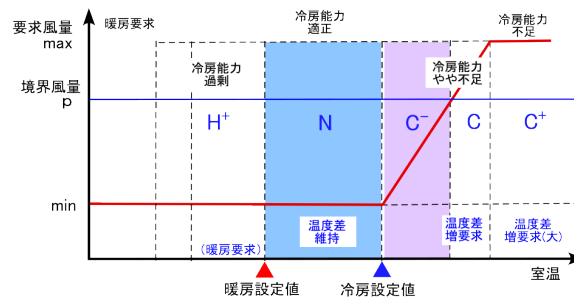
3.2 節で給気風量と給気温度の関係を説明し、搬送動力の省エネのために、できる限り給気温度と室温との差(給気温度差)を大きくするL字制御を目指すためには「給気温度リセット制御」が必要であることを述べた。以下の考察では、この給気温度リセット制御のアルゴリズムとパラメータについて詳述する。

40

【考察】

(1) VAV ユニットの制御動作

【冷風モード時】 下図は、ある制御機器メーカーの冷風モード時の制御動作の説明を参考にして作成した、冷風モードの VAV ユニットの室温と要求風量の関係を示す概念図である。

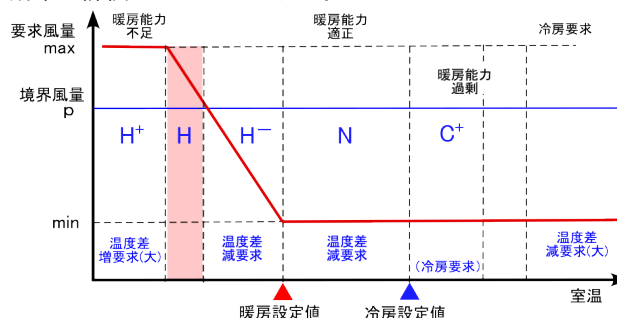


以下は図で示した各領域における制御要求を示す。

- C⁺: 室温が設定値より高いので冷房能力不足と判定。しかし既に要求風量が最大(max)であるため給気温度差を増やす（例えば 1.0℃給気温度を下げる）。
- C: 要求風量は最大(max)ではないものの境界風量(p)よりも多いため冷房能力がやや不足と判定。給気温度差を少し増やす（例えば 0.5℃給気温度を下げる）。
- C⁻: 要求風量は境界風量(p)を超えないので、原則、冷房能力適性と判定。給気温度を変えない。
なお、この領域では供給風量が min と境界風量 p の間になる。
- N: 要求風量は最小(min)であり室温は適切に維持されているので冷房能力は適性と判断。給気温度を変えない。
- H⁺: 室温が暖房設定温度以下かつ暖房要求なので冷房能力過剰と判定。要求風量が最小(min)であるため、給気温度差を減らす（例えば 1.0℃給気温度を上げる）。

この制御の結果、大多数の室の室温は N または C⁻の領域に入り、供給風量は最小 (min) と境界風量(p)の間となって搬送動力が小さい制御が達成できる。なお、境界風量(p)の設定値を大きくすると p の近傍風量に留まる VAV ユニットが生じるため搬送動力を小さくするには境界風量(p)の設定値をできる限り小さくする（つまり C⁻ 領域をなくす方向の）設定とすることが重要である。

【温風モード時】 下図は、温風モード時の VAV ユニットの室温と要求風量の関係を示す概念図である。一般に、温風モード時に、冷風モード時と同じく最小風量となるように制御すると室の上部に暖気が滞留し居住域の室温が適切に維持しにくくなるため、環境維持を優先し搬送動力の削減を犠牲にするような制御設定がなされる。そのため本書では温風モード時の搬送動力の省エネ効果は評価しないことにする。



以下に、このように制御設定された場合の各領域における制御要求を示す。

- H⁺: 室温が設定値より低いので暖房能力不足と判定。既に要求風量は最大(max)であるので、給気温度差を大きく増す（例えば 1.0℃給気温度を上げる）。
- H: 上記したように温風モード時には多めの風量で運転したいので、これが適切な制御状態と判定し給気温度差を維持する（給気温度を変えない）。
- H⁻: 要求風量は境界風量(p)を超えないので搬送動力の削減上は好ましいが、H 領域で運転することを目標とし給気温度差を少し減らして（例えば給気温度を 0.5℃下げる）、風量を増す方向に制御する。
- N: 要求風量は最小(min)であり室温は適切に維持されているが、上記と同様の理由で給気温度差を少し減らして（例えば給気温度を 0.5℃下げる）、風量を増す方向に制御する。

C⁺：室温が冷房設定温度以上かつ冷房要求なので暖房過多と判定。要求風量が最小(min)なので、給気温度差を減じる（例えば 1.0℃給気温度を下げる）。

この制御の結果、大多数の室の風量はH領域に入る。つまり供給風量が多めになるように制御される。ペリメータゾーンのように暖房負荷が大きい室の場合は、このような制御設定がよく行われる（つまり暖房時の VAV による省エネ効果は少ない）。最近、建物外皮の断熱性能が良くなり暖房要求の時間数は冷房要求に比べて少ないので、温風モード時の省エネ効果を評価しなくても年間の省エネ性能への影響は少ないといえる。

注）上記の判定方法は、VAV ユニットによる給気が室の上部（主に天井面）からなされているシステムを前提としている。床吹出口の場合は空気の滞留が冷風モード時に起きるので、上記と逆の判定を行うように設定される。どのような判定方法を採用かは自動制御の調整時に決められているが、本来、どのような制御判定方法を採用すべきかは設計段階で判断して決めるべきである。

以上は各 VAV ユニットに対する制御要求の判定である。次ぎに多数のユニットが種々の要求を発信するときに、結果として給気温度リセット制御をどのように行うかという総合判定方法を説明する。

例えば、以下のように各判定に対する具体的な温度の変更値を決め、

給気温度差大幅増 → 1.0℃増、 給気温度差増 → 0.5℃増

給気温度差維持 → 不変

給気温度差大幅減 → -1.0℃減、 給気温度差減 → 0.5℃減

判定の優先度を、以下のように、左の事象を優先とするのが総合判定法である。

給気温度差大幅増 > 給気温度差増 > 給気温度差維持

給気温度差大幅減 > 給気温度差減 > 給気温度差維持

もしも、温度差の増と減とが同時に発生するという相反する要求が出る場合は、現状維持とすることが要求の多数決で決定する（この場合は妥協で判断することになるため、どこかの室温が適切に維持できなくなる）。

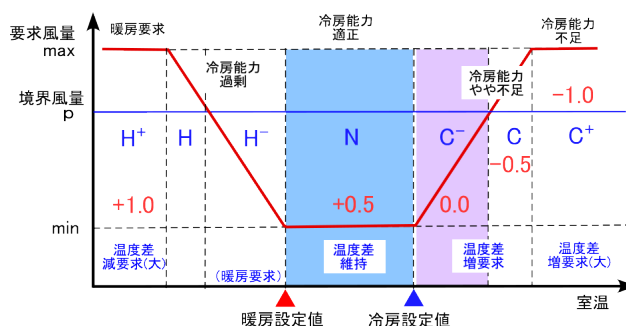
このように複数 VAV ユニットからの要求をもとに制御を決定するアルゴリズムが総合判定方法である。通常このアルゴリズムは自動制御業者の調整範囲とされ設計者が指示・介入することは少ない。

(2) VAV ユニットの制御パラメータ

多くの VAV システムにおいて、運転中に給気温度差が小さくなる、つまり給気風量が増大し、思うように搬送動力の省エネが達成されないことが指摘されている。この原因は、上記した給気温度制御における実システムのパラメータ設定に関係していることが多い。

1) 温度増減パラメータ

右図の数字（赤字フォント）は、ある制御メーカーの冷風モード時の給気温度リセット増減値（デフォルト値）の例である。これによると、本来、温度差維持の判定 N の領域では給気温度不変であるべきなのに +0.5℃増すとされている。そのため、このデフォルト値のまま制御すると結果的に各室への風量は C⁻の領域に集まり、また室温が冷房設定温度より少しでも下がると +0.5℃の指示が出されるため、給気温度は常に高く維持され続けてしまう。つまり風量が増える制御になってしまう（このデフォルト値が採用されているのは、搬送動力の省エネが優先ではないという過去の経験によるようである）。



注）制御システムの調整において、次の2つの対策がなされることがある。

- デフォルト値を修正して、N 領域の給気温度増減値を 0.0℃にする。これは有効な変更であり推奨される。
- 設定温度に対する追従性を高めるため、暖房と冷房の室温設定値の差を小さくする。（極端な場合、同じ値に設定してデッドバンドである N 領域なくす）。この調整は、設定温度との僅かな偏差でも温風要求が生じやすくなり、結果的に給気温度を高くする方

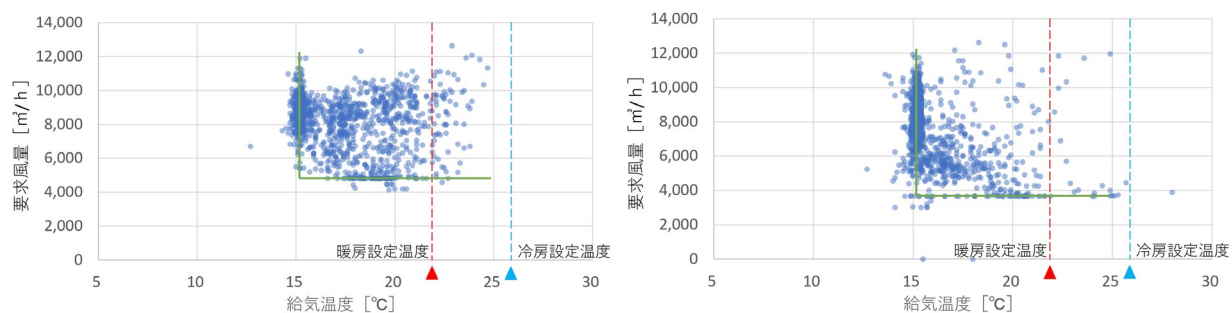
向に変更され、上記と同じように風量過多という不具合が起きるため避けなくてはならない。

2) 最小給気風量

給気風量の最小値(min) も制御パラメータである。これが大きくならないように、設計で決めた最小給気風量比を基に制御パラメータを設定することにより省エネが達成できる。

以上のように、VAV システムの搬送動力削減のためには「給気温度リセット制御に関わるパラメータの調整」が非常に重要である。従って、自動制御の調整者にこうしたパラメータ値を適切に設定するように設計図書で指示することが必須である。

下図は、ある実システムにおけるパラメータ調整による改善の例である。調整前はL字の制御から外れる作動点が多いが調整後はかなりL字に近くなり、その結果、搬送動力が33%減じたと報告されている。



(再掲) 図 3.3 VAV 制御の調整前と調整後の給気温度と風量の発生散布図

上記の考察で述べたように、給気温度リセット制御が適切に機能しないと給気温度差が大きくなり、風量を最小にできない。そのために設計図書には下記のような指示事項を明記する。

- 5 1) 冷風モード時に給気風量を可能な限り最小に制御できるようにするため設計図書に下記を明記する。
 - ・冷房・暖房の設定室温を明確に記す。その際、両者が近接し、冷房・暖房の設定温度の間隔がゼロに近くならないように配慮する。
 - ・制御パラメータ設定においては、給気温度リセットの増減値をデフォルト値によることなく、搬送動力削減の観点から適切な値に調整するように指示する。
- 10 2) 運用時に、上記のような不具合が生じる設定に変更されてしまわないような注意事項を設計図書に記す。
- 15 2) 在室者が各ゾーンの室温設定値を異常な値にセットすると給気温度制御が乱れて非省エネな運転となるため、原則として、在室者が自由に設定できないように配慮していることを明記する。

なお温風モード時は、風量を減じると上下温度分布が生じるので制御パラメータはメーカーのデフォルト値でよい。インテリア系統が温風モードになる時間帯は殆どないと考えられるので、この設定でも搬送動力の削減上大きな問題にはならない。ペリメータゾーンであっても断熱性がよい場合は同様である。

5.4 エアバランスと給気系以外の設計

VAV 空調システムの搬送動力の省エネには、VAV ユニット、給気ダクトやファンなど、給気系の設計配慮がまずは重要であるが、還気・排気・外気取入系統における省エネ配慮も不可欠である。特に、風量変化時のエアバランスに対する設計配慮が軽視される傾向にあるが、これは重要である。エアバラン

スが不適切だと次のような不具合が発生する。

- 1) 必要な外気取入れ量が確保できず室の空気環境が悪化する
- 2) 室と外界との間に想定外の漏入・漏洩が発生して非省エネになる
- 3) トイレやパントリーなどで適切な局所換気量が確保できない

5 こうした不具合を防ぐには、ファンの運転制御に加えて、周辺のダクト設計や制御ダンパの設置ならびに制御に関する設計配慮が不可欠である。

注) クリーンルームのような室の圧力制御を厳密に行う必要性の高い空調とは異なり、一般の保健空調では厳密なエアバランス設計は行わない。そのため、本稿でいうエアバランスの配慮では妥協が生じることは否めない。

10

適切なエアバランスとは、VAV により給気風量が変化しても室と外界の圧力差をほぼゼロに、還気・排気・取入外気などをほぼ設計通りの風量に、維持することをいう。つまりエアバランスが適切であれば、外壁・窓・開口部などの隙間を通じた漏入・漏洩がほぼなくなって省エネな運転ができ、かつ室の空気環境も適切に維持できる。なお、室から廊下などの共用部にパスダクトなどを設けて空気を流し、その空気がトイレやパントリーなどから局所換気ファンで排気される場合には室の圧力が共用部より僅かに高くなるが、本解説書ではこの程度の微差圧は無視するものとする。

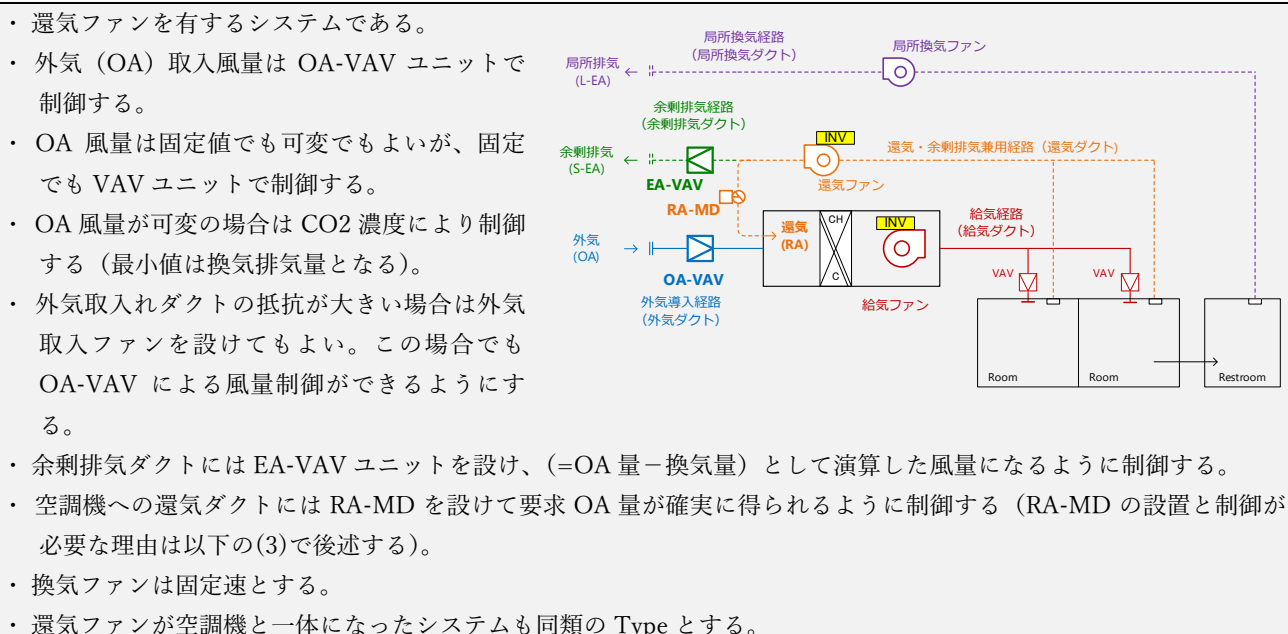
15

適切なエアバランスの保持は、空調システムの構成によってそれぞれ特有の設計配慮が要するため、以下に 4.1.1 節で述べた Type に分けて要点を説明する。ただし給気系統については既に説明したので、原則として除いている。

20

5.4.1 Type-A のエアバランスと必要な設計配慮

Type-A 空調システムの要件を再掲する。



(1) 還気ダクト

還気ダクトの吸込口には VAV ユニットのような風量制御機能を設けず、各ゾーンからの還気量の制御はしないのが一般的である。こうした設計でも、室 (ゾーン) 間が壁で区画されていなければエアバランス上特に大きな問題は生じない。しかし、壁などで区画された室 (ゾーン) があれば、その室 (ゾーン) を使用しない場合には給気 VAV ユニートを完全閉止し、還気ダクトには MD を設置して還気が閉止できるようにするのがエアバランス上適切である。

25

(2) 還気ファン

還気ファンの定格風量は次式で求める。

$$V_{R,r} = V_{S,r} - V_{VE} \quad \dots (5.4.1)$$

ここに、

- 5 $V_{R,r}$: 定格還気量
 $V_{S,r}$: 定格給気量
 V_{VE} : 局所排気量 (定風量)

ファンの静圧 $\Delta p_{R, fan}$ は下式で表される。

10 $\Delta p_{R, fan} = \Delta p_{R, duct} + \Delta p_{EA-VAV} + \Delta p_{EA, duct} \quad \dots (5.4.2)$

ここに、

- $\Delta p_{R, duct}$: 還気ダクトの圧損
 Δp_{EA-VAV} : 余剰排気用 VAV ユニットの圧損 (稼働最小差圧)
 $\Delta p_{EA, duct}$: 余剰排気用ダクトの圧損 (緑の経路)

15

本式で定格風量時の $\Delta p_{R, fan}$ を求めてファンの選定をする。なお、給気量が変化する時、還気風量 V_R は次式となる。

$$V_R = V_S - V_{VE} \quad \dots (5.4.3)$$

20 (3) OA-VAV・EA-VAV・RA-MD

エアバランスを保持するためには下記のような機構を設けて適切なエアバランス制御ができるような設計配慮が必要である。

1) 外気取入れダクトに OA-VAV ユニットの設ける

- 25 外気取入れダクトには、取入外気(OA)量を制御するために、全開信号 (100%) と適正開度信号 (一般に約 85%) を発信する機能を有する VAV または CAV ユニットの設ける (MD や VD は計測機能がなく精度の高い風量制御ができないため不可)。

2) 空調機に接続される還気ダクトにモータダンパを設け制御する

- 30 余剰排気ダクトと分岐後の空調機に接続される還気ダクトにはモータダンパ (RA-MD) を設け、この開度を OA-VAV ユニットの適正開度 (一般に 85~100%未満) に制御する機構を設ける。これが必要な理由は、もしも還気ファンの出口圧力が高く、かつファンから空調機への還気ダクトの圧損が僅かなとき、還気と外気の空調機混合 BOX 内の圧力が外気よりも高くなって必要な外気を取入れることができなくなることを防ぎ、かつ OA-VAV をなるべく開放して運転できるように圧損を少なくするためである。なお、この制御方法は外気取入ファンがある場合は異なるので次項(4)によって設計する。この制御の詳細は下記の【参考】を参照のこと。
- 35

3) EA-VAV ユニットの設ける

EA ダクトには EA-VAV ユニットを設ける。この VAV ユニットの定格風量は下式により求める。

$$V_{EA} = V_{OA} - V_{VE} \quad \dots (5.4.4)$$

ここに、

V_{VE} : 局所排気風量 (固定値)

外気取入量が一定値であれば CAV ユニットでもよいが、適正開度信号が出せる機構を有するものとする。外気量を可変とする場合は、余剰排気量が変化するので EA 風量を制御系の演算で求め、その値を EA-VAV への風量指示とする。

(4) 外気取入 (OA) ファン

外気取り入れダクトが長く抵抗が大きい場合は、適量の外気取入ができるように外気取入ファンを設けることがある。ファンは、空調機ごとに単独に設置する方法と複数の空調機に共用ファン1台を設ける方法がある。

ファンを設置する場合、前項 1)と同様、外気取入量を確保するために OA-VAV を設け、かつ省エネのために OA-VAV が適正開度で運転されるように外気取入ファンを回転数制御する機構を設ける。この制御の詳細は下記の【参考】を参照のこと。

【参考】

下記は必要外気量の確保をしかつ省エネに運転するために不可欠な制御の詳細であり、施工時にパラメータの詳細が決定され制御装置に組み込まれる。

<全般的な制御の与条件>

- ・ 給気ファンの回転数比は「5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線」で述べた方法で制御されている (回転数補正制御も含む)。
- ・ 還気ファンの回転数は給気ファンと連携して回転数制御がなされている。

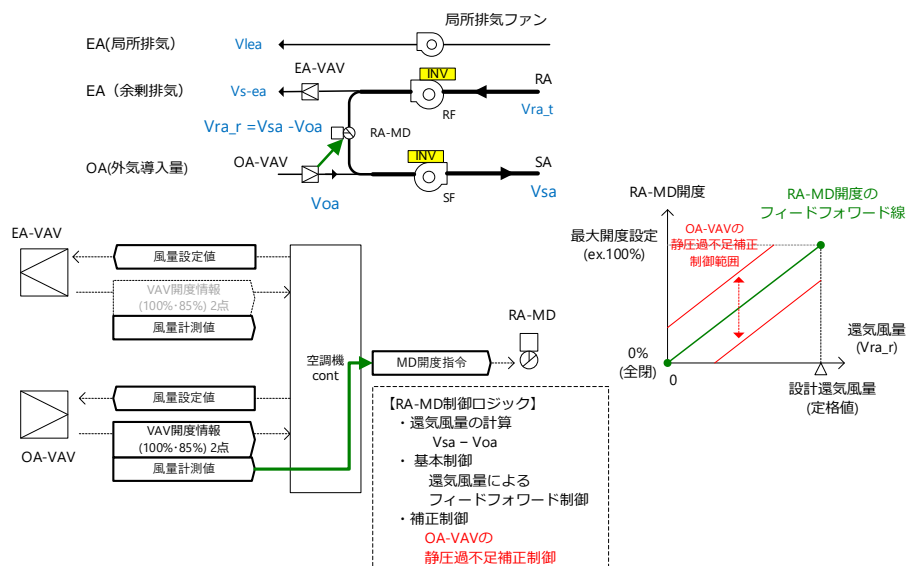
A. 外気取入ファンがない場合

- ・ EA-VAV の風量 V_{EA} (余剰風量) を式(5.4.4)で求め、定格値に対する比 r_{EA} を求めて以下のように制御する。

<制御>

STEP-1: 下図右の FF 線を用いて r_{EA} により RA-MD の開度を決める。

STEP-2: この開度を OA-VAV ユニットの VAV 開度が適正值 (85~100%) となるように RA-MD の開度を増減して補正する (この方法の詳細は 5.3.1 を参照 これを静圧過不足補正制御という)。



B. 外気取入ファンがある場合

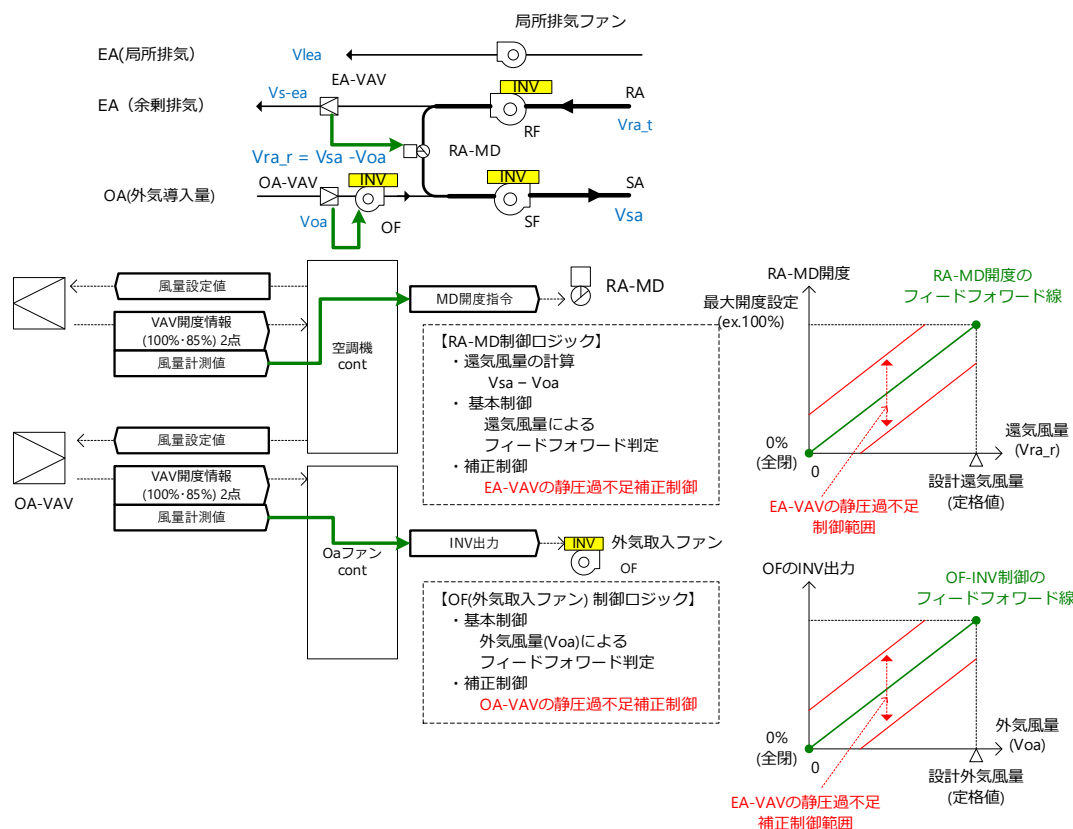
B-1 空調機ごとに外気取入ファンがある場合

- EA-VAV の風量 V_{EA} (余剰風量) を式(5.4.4)で求め、その定格値に対する比 r_{EA} を求めて以下のように制御する。

<制御>

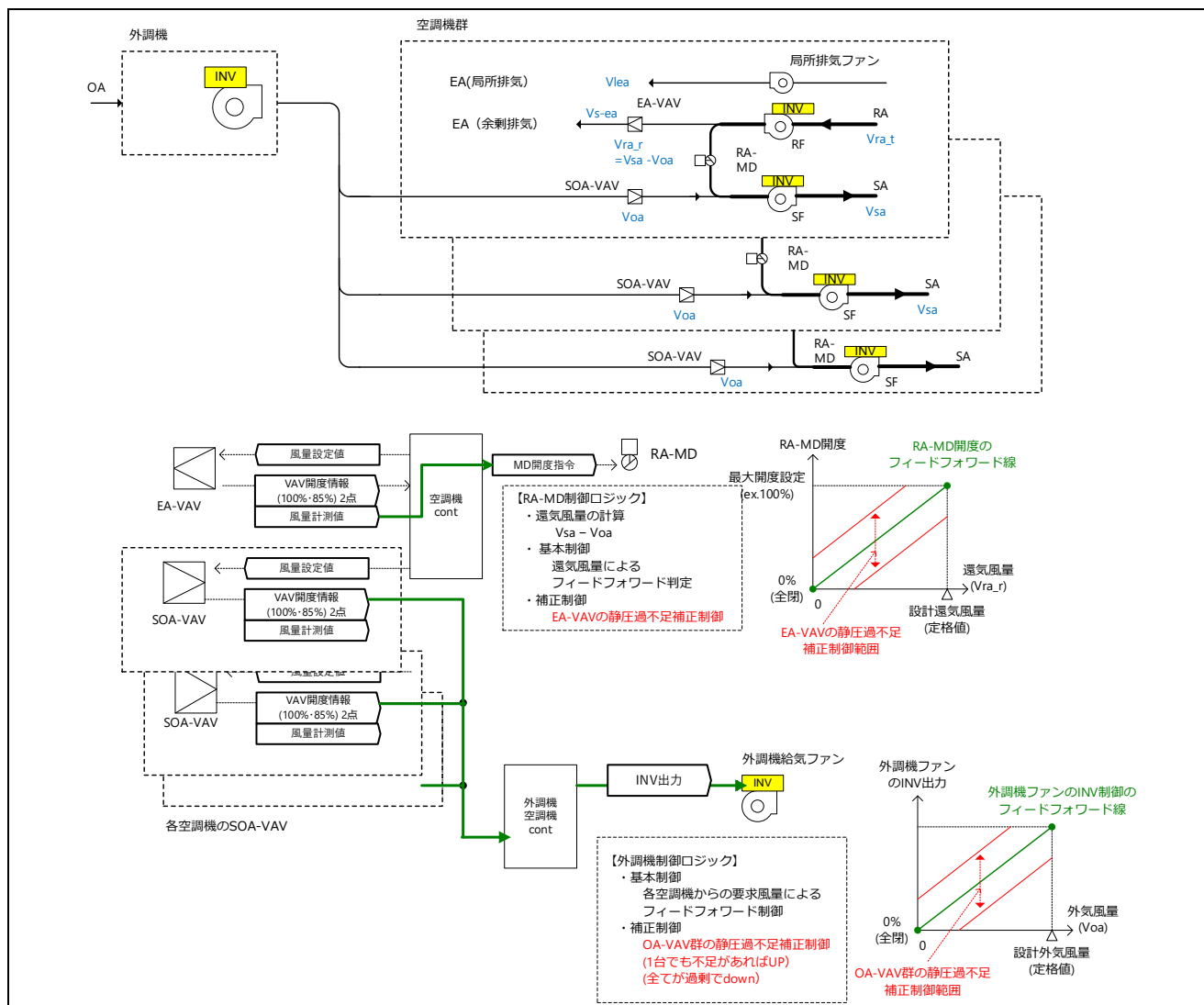
STEP-1: 下図右の FF 線を用いて、「空調機への還気風量」(図では設計還気風量)から RA-MD の開度を、「外気取入量風量」(図では設計外気風量)から還気ファンの INV 出力を決める。

STEP-2: OA-VAV ユニットの VAV 開度が適正值 (85~100%) となるように、還気ファンの INV 出力を増減して補正する (静圧過不足補正制御)。また、EA-VAV ユニットの VAV 開度が適正值 (85~100%) となるように RA-MD の開度を増減して補正する。



B-2 複数の空調機に対して1台の外気取入ファンがある場合

基本は B-1 と同じである。OA ファンは (給気ファンと同じく) 複数台の空調機の要求外気風量の合計により、フィードフォワード制御と静圧過不足補正制御により制御する。



(5) 局所排気ファン

固定速ファンとして通常の方法で設計する。

(6) 給気・還気ファンの最小風量と回転数制御

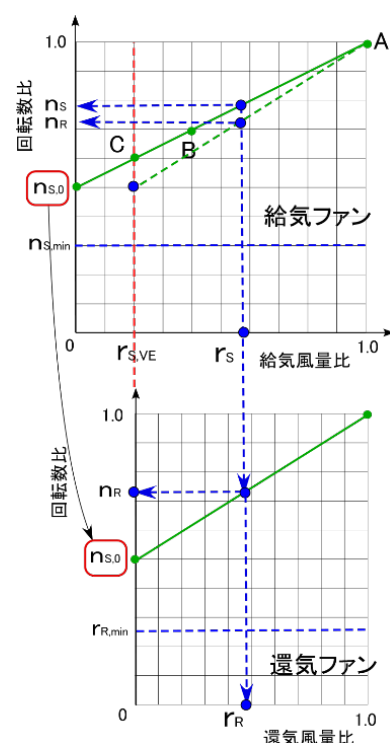
1) 給気・還気ファンの最小風量

- 5 給気・還気ファンの最小風量 $V_{S,min}$ 、 $V_{R,min}$ の決め方は「5.1.3 最小風量設定値」を参照のこと。

2) 還気ファンの回転数制御と FF 線

- 10 還気風量と給気風量とは直接的な関係にあるので、給気ファンの回転数に比例するとして制御されることもある。しかし、還気ファンの風量は局所排気風量の分だけ少ないので、本法では還気ファンの回転数と給気ファンの回転数に以下のような関係が成り立つと仮定して制御すると想定する（右図参照）。

- 15 1) 給気ファンの回転数比が 1.0（定格風量）のとき還気ファンの回転数比も 1.0 とする。
- 2) 給気ファンの風量が局所排気風量になるとき還気ファンの風量がゼロになる。そこで、このときの還気ファンの回転数比 $n_{R,0}$ を給気ファンの FF 線の切片の回転数比 $n_{S,0}$ と等しいとする。



右図はこの仮定の概念図である。この関係を整理すると、還気ファンの回転数比 n_R と給気ファンの回転数比 n_S の関係は次式となる。

$$n_R = \frac{1}{1 - r_{S,VE}} (n_S - r_{S,VE}) \quad \dots (5.4.5)$$

ここに、

n_S 、 n_R : 給気ファンおよび還気ファンの風量比
 $r_{S,VE}$: 局所還気風量に対する給気風量比

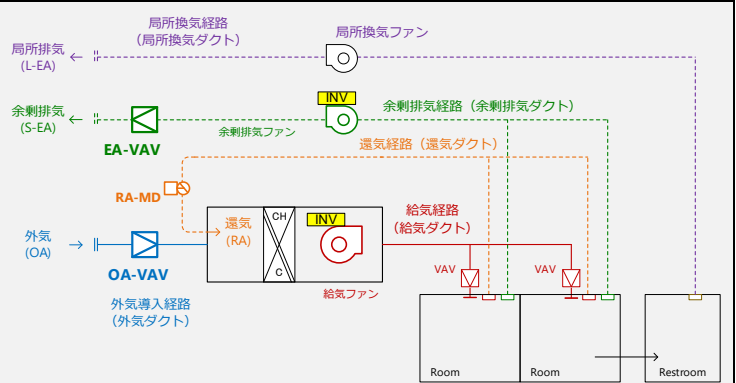
注) 2)の仮定に原理的な根拠がある訳ではない。こうした仮定による便法を採るのは、還気ファンに対しても給気ファンと同じ考えで FF 線を見出す方法はあるがそれには煩雑な計算が必要となること、また一般に、還気ファンの回転数は給気ファンの回転数をもとに一次式で推定して運転しているのでその手法を踏襲すること、の2点が理由である。

なお、後述するが、還気ファンの消費電力は、上図還気ファンの緑線を FF 線として給気ファンと同様の方法で推定する。

5.4.2 Type-B1 のエアバランスと必要な設計配慮

Type-B1 空調システムの要件を再記する。

- ・ 還気ダクトとは別に余剰排気ダクトとファン、EA-VAV ユニットを設けたシステム。
- ・ 外気 (OA) 取入れの設備と制御に関しては Type-A と同じ。
- ・ EA-VAV ユニットの制御は Type-A と同じ。
- ・ 空調機への還気ダクトに設ける RA-MD の制御は Type-A と同じ。
- ・ 排気ファンは固定速とする。



(1) 余剰排気ファン・ダクト

通常的设计法で設計する。排気量は Type-A と同じ。

$$V_{EA} = V_{OA} - V_{VE}$$

余剰排気ファンの回転数制御は EA-VAV ユニットが適正開度 (一般に 85~100%未満) になるように制御する。最小風量は通常ファンと同じ制約がある。

(2) OA-VAV・EA-VAV・RA-MD

エアバランスを保持するための OA-VAV ユニット、EA-VAV ユニット、RA-MD の制御では Type-A と同じ設計配慮をする。

(3) 局所排気ファン

固定速ファンとして通常の方法で設計する。

(4) 外気取入ファン

Type-A と同様な外気取入ファンを設けてもよいが、同じような仕組みと制御における設計配慮が必要である。

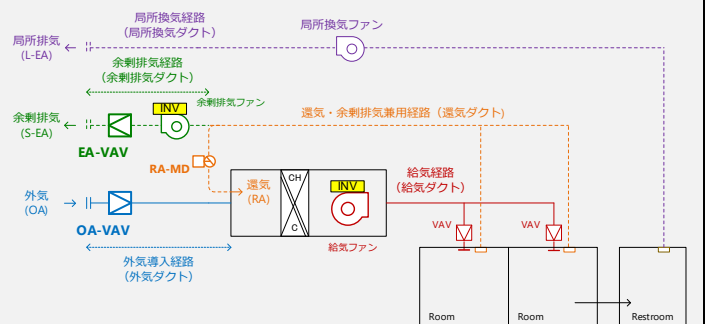
(5) 給気ファンの最小風量と回転数制御

給気ファンの最小風量と制御方法は Type-A と同じ。

5.4.3 Type-B2 のエアバランスと必要な設計配慮

5 Type-B2 空調システムの要件を再記する。

- ・ 還気ダクトと余剰排気ダクトを兼ねるシステム。
- ・ 余剰排気ファンと EA-VAV ユニットとを設ける。
- ・ 外気 (OA) 取入れの設備と制御に関しては Type-A と同じ。
- ・ EA-VAV ユニットの制御も Type-A と同じ。
- ・ 空調機への還気ダクトに設ける MD の制御も Type-A と同じ。
- ・ 排気ファンは固定速とする。



(1) 余剰排気ファン・ダクト

通常的设计法で設計する。排気量は Type-A と同じ。

$$V_{EA} = V_{OA} - V_{VE}$$

- 余剰排気ファンの回転数制御は EA-VAV ユニットが適正開度（一般に 85～100%未満）になるように制御する。最小風量は通常のファンと同じ制約がある。

(2) OA-VAV・EA-VAV・RA-MD

エアバランスを保持するための OA-VAV ユニット、EA-VAV ユニット、RA-MD の制御は Type-A と同じ配慮が要る。

(3) 局所排気ファン

- 15 固定速ファンとして通常の方法で設計する。

(4) 外気取入ファン

Type-A と同様な外気取入ファンを設けてもよいが、同じような仕組みと制御の配慮が必要である。

(5) 給気ファンの最小風量と回転数制御

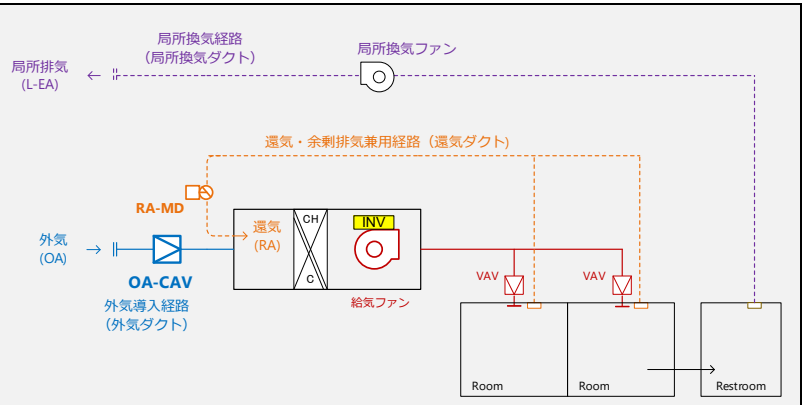
給気ファンの最小風量と制御方法は Type-A と同じ。

20

5.4.4 Type-B3 のエアバランスと必要な設計配慮

Type-B3 空調システムの要件を再記する。

- ・ 還気ファンも余剰排気ファンもないシステム。
- ・ 取入外気は固定風量であり、全て換気ファンで排気される。
- ・ 換気ファンは固定速とする。
- ・ 空調機への還気ダクトに設ける MD の制御は Type-A と同じ。



(1) OA-VAV・RA-MD

エアバランスを保持するための OA-VAV ユニット、RA-MD の制御は Type-A と同じ。

(2) 局所排気ファン

回転数固定であり、通常の方法で設計する。

5 (3) 外気取入ファン

Type-A と同様な外気取入ファンを設けてもよいが、同じような仕組みと制御の配慮が必要である。

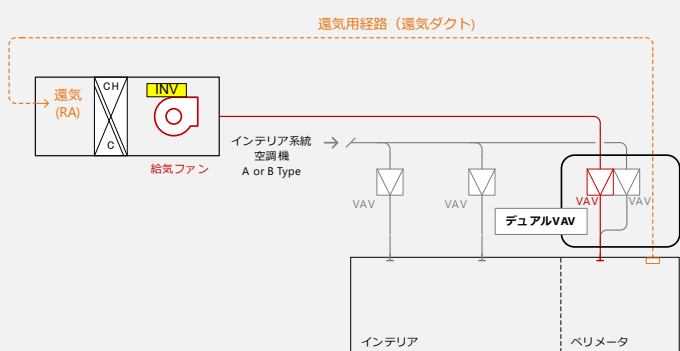
(4) 給気ファンの最小風量と回転数制御

給気ファンの最小風量と制御方法は Type-A と同じ。

10 5.4.5 Type-C のエアバランスと必要な設計配慮

Type-C 空調システムの要件を再記する。

- ・ 空気循環のみのシステム。
- ・ ペリメータゾーン用の空調機システムでは、インテリア系統の空調機が冷房、ペリメータ系統の空調機が暖房の運転であれば、ペリメータゾーンにデュアル VAV を設置して冷暖どちらの要求にも対応できるようなシステムにすることも考慮する。



(1) 給気ファンの最小風量

最小風量はファンがサージング域に入らない範囲でほぼゼロまで絞れるが、一般にこのような運転の頻度は少ないと思われる。

15

5.5 ファン消費電力の推定

本節では、設計段階でファンの年間エネルギー消費量を推定する方法を示す。正攻法として、各 VAV ユニットの要求風量や圧力などを時々刻々シミュレーションし年間の消費エネルギー量を推定する方法があるが作業負担が大きい。そこで、本節では web プログラムの仕組みを用い、各室の熱負荷の頻度分布を与情報とする概算法を適用することとする。以下にこの方法を解説する。

20

5.5.1 顕熱負荷に対する消費電力推定方法の手順（給気ファン）

本節ではファン消費電力の推定方法の手順について解説する。

- 1) 顕熱負荷の処理量は風量と給気温度差の積に比例する。風量と給気温度差（室温－給気温度）の両者とも時々刻々変化するが、簡単化のため給気温度差は設計で想定した一定値であると想定する。従って、顕熱負荷と風量とは比例関係にある。

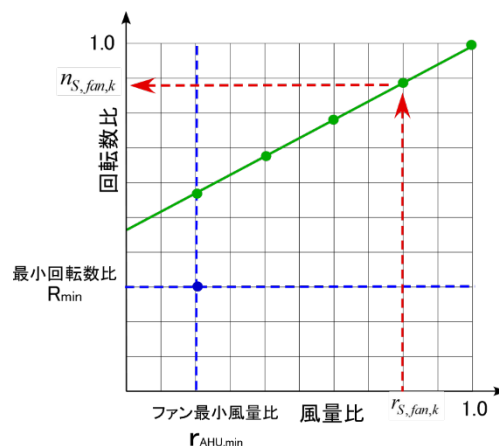
25

注) 「5.3 ファン回転数と給気温度の制御」で説明したように、給気温度リセット制御によって給気温度差 $\Delta T = |T_{set} - T_s|$ は VAV ユニットの開度状況に応じて変化する。そのため実運転の給気風量は設計時に定めた ΔT で求めた風量よりは通常多くなるが、本法では「3.2 給気風量と給気温度」で説明した L 字制御が理想的に達成されるとし、設計の ΔT を用いて給気風量を求めることとする。これは、空調機が処理する顕熱負荷と風量が比例関係にあることを意味する。

30

2) 顕熱負荷と全熱負荷は比例関係にないが、これを近似的に比例関係にあると仮定する。従い、風量と全熱負荷が比例関係となる。

- 5 3) 5.3.1 で説明した FF 線をもとにして、次の 5 つの風量比に対する回転数比を見出し、ファンの特性曲線から軸動力を見出す。つまり、最大風量比 (1.0) と最小風量比 (5.1.3 節で決めた値) の 2 点とその間を 4 分割した風量比 $r_{S,k}$ という計 5 点 (k) に対する回転数比 $n_{S,k}$ を下式 (給気ファンの FF 線) により見出す (右図参照)。

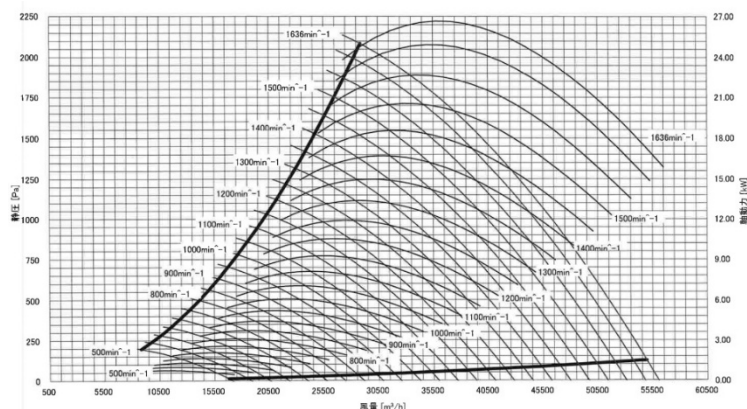


$$n_{S,k} = a r_{S,k} + b \quad \dots \text{再掲(5.2.4)}$$

ただし $n_{S,k} < n_{S,\min}$ ならば $n_{S,k} = n_{S,\min}$

- 15 4) 上記した、 k (1~5) 点での風量比 $r_{S,k}$ と回転数比 $n_{S,k}$ に対するファンの軸動力 $E_{S,k}$ (および静圧 $p_{S, fan, k}$) をファンの特性曲線あるいはファン特性のモデル式によって求める。

20 一般にファンの特性曲線は定格回転数の特性のみが記載されているが、本法を適用する場合は右図のように回転数が変化したときの性能が記載された性能曲線が必要である。もしも定格回転数のみが記載された特性曲線しかない場合は、
25 ファン特性のシミュレーションモデルを用いて見出す必要がある (このアプリケーションは別途提供する)。



- 5) ファンの特性曲線で得られるのはファンの軸動力 $E_{S,k}$ である。これをモータとインバータの効率で割って消費電力 $E_{S, sys, k}$ を求める (式 (5.5.1))。

30 ただし、WEB プログラムで計算する場合、これらの効率は 1.0 とする。その理由は、設計で選定するモータ定格値は必要な軸動力よりも大きい余裕をもった値であり、WEB プログラムではこの定格値をもとに一次消費エネルギーを算出するため、この余裕 (安全率) が効率を 1.0 と見なすことで相殺されると考えることによる。

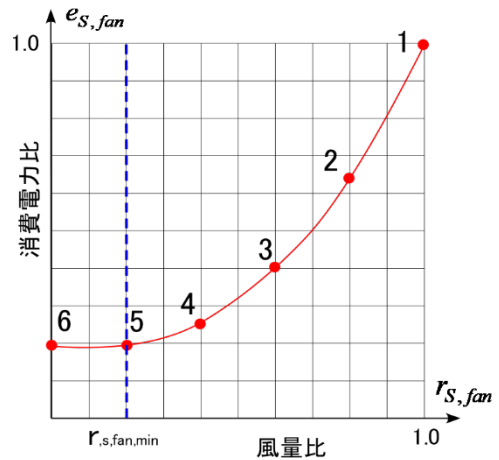
$$E_{S, sys, k} = \frac{E_{S, k}}{\eta_{mor} \eta_{inv}} \quad \dots (5.5.1)$$

ここで、

$E_{S, sys, k}$: ファンの消費電力 [kW]

η_{mor}	モータ効率	[-]
η_{inv}	インバータ効率	[-]

- 6) 上記で見出した各風量比 $r_{S,k}$ と消費電力比 ($e_{S,k} = E_{S,sys,k} / E_{R,S,sys}$ 、ここで $E_{R,S,sys}$: モータとインバータを含むファンシステムの定格消費電力=風量比 1.0 の消費電力) の 5 組の値に、風量比ゼロの点の消費電力比を最小風量比の消費電力比と同じとして加え、これら 6 組の値をもとにして最小二乗法により風量比 r_S に対する消費電力比 e_S の 3 次多項式による回帰式 (5.5.3 式) を作成する (エクセルの計算機能などで計算することができる)。風量比ゼロの点を加えるのは WEB プログラムを用いる際に風量比 (=顕熱負荷比と等価※) がゼロまで評価できるようにするためである。右図は以上の方法を概念的に示す。



- 7) WEB プログラムにこの回帰式の係数 ($\alpha_0 \sim \alpha_3$) を代入すれば、次式によって年間の熱負荷比をもとにしたファンの年間一次エネルギー消費量が推定できる。

$$e_S = \alpha_3 r_S^3 + \alpha_2 r_S^2 + \alpha_1 r_S + \alpha_0 \quad \dots(5.5.2)$$

注) 実システムでは回転数の補正制御が働き FF 線より小さい回転数で運転されると予測され、実際は上記した方法で推定した消費電力より少なくなることが考えられる。本方法でこの省エネ効果を評価しないのは、給気風量を見出す際の給気温度差を最大である ΔT (設計値) としたこと、つまり実運転では給気温度差が設計値より小さくなるのに理想的な L 字制御を想定して消費電力を推定しているため、この代償 (ペナルティー) と考えているためである。

5.5.2 還気風量に対する消費電力推定方法の手順 (還気ファン)

還気ファンは Type-A のシステムにしかない。

- 1) 下式で還気風量を求める。

$$V_R = V_S - V_{VE} \quad \dots \text{再掲 (5.4.3)}$$

- 2) 最小風量 $V_{R,min}$ を「5.1.3 最小給気風量」で定めた値とする。

- 3) 「5.4.1 Type-A のエアバランスと必要な設計配慮、(6) 給気・還気ファンの最小風量と回転数制御」で述べたように、給気ファンの回転数比から式 (5.4.5) によって FF 線を求める。

- 4) この FF 線により給気ファンと同様の配分で 5 点の換気ファンの風量比 $r_{R,k}$ を求める。

- 5) 給気ファンと同様の方法で風量比 r_R に対する消費電力比 e_R の組み合わせを 6 点として回帰により 3 次多項式を定める。

- 6) あとは給気ファンと同様。

5.5.3 外気取入・余剰排気・局所換気ファン

本書では CO2 制御のような外気風量を制御するシステムは対象としていないので、外気取入・余剰排気・換気ファンはそれぞれ定格風量となるため固定速ファンとして推定する。

5.5.4 年間一次エネルギー消費量

上記のようにして WEB プログラムにより年間の一次エネルギー消費量を求める。また本方法では暖房時の VAV 空調システムの搬送動力削減は評価しないため、冷房負荷に対してのみ一次エネルギー消費量を求める。

5

5.6 初期調整に必要なデータと計測器

VAV 空調システムの省エネ性能は、本書で記した事項に配慮して設計するだけでなく、設計意図通りに稼働するように初期調整することによりはじめて発揮される。この初期調整では、VAV ユニットの開度やファンのインバータ周波数などを指示して消費電力を計測するなどの作業が必要である。運転指示は制御システムから指示できることもあるが、場合により、別途、メーカーの調整機器が必要になることがある。試験や検証に必要な計測データも、中央監視装置（広義の BEMS）の常設ポイントとして収集できることもあれば、現地にテンポラリーに計測装置を設置しなくてはならないこともある。そのため、これらの指示や計測作業に必要となる事項について設計図書で規定しておく必要がある。なお、計測ポイントの要求事項については 6 章で規定する。

15

5.6.1 自動制御メーカーのツールを用いた計測・操作

初期調整作業を効率よく実施するには、中央監視システム（BEM）のほかに、VAV ユニットの計測値の確認、運転条件設定の操作・設定に自動制御メーカーのツールを用いることが不可欠である。従って特記仕様書で、初期調整時にこの計測器を提供することを特記仕様書で指示する。

参考として、ある自動制御メーカーのツールでモニタしたり操作・設定できる項目の一覧を示す（表-5.6.1）。

表-5.6.1 自動制御メーカーの調整ツールで扱えるモニタ及び操作・設定情報一覧（参考：A 社の場合）

信号カテゴリ	装置	ポイント	備考
モニタ情報	VAV ユニット	運転状態	
		風量設定値	
		風量計測値	
		室内温度	
		室内温度設定値	
		全開情報	
		適正開度情報	
		温度制御モジュール PID 出力値	
	空調機	運転状態	
		給気温度	
		給気温度設定値	
		INV 制御・基本制御モジュール ^(*) の設定値	要求風量により回転数を決める INV 制御の基本制御モジュールに関する以下の設定値のこと。 1) VAV 最小要求風量時の風量と周波数（下限周波数） 2) VAV 最大要求風量時の風量と周波数（上限周波数）
		INV 制御・補正制御モジュール ^(*) の設定値	各 VAV の静圧過不足により上記の基本制御モジュールにより決まる周波数に対する以下の補正值設定 ^(*) のこと 1) プラス側 X%、2) マイナス側 Y%
操作・設定 情報	VAV	VAV ユニット運転・停止操作	
		VAV ユニット室内温度設定	
		VAV ユニット室内温度制御モジュール有効/無効設定	室内温度制御モジュールを無効とし、要求風量を指定値に固定する機能（機種により、最大風量と最小風量の両

		VAV ユニット室内温度制御モジュール 風量設定	方を指定値に設定することで要求風量を固定する方法もある)
	空調機	空調機運転・停止操作	
		給気温度設定リセット制御 有効/無効設定	
		給気温度設定	給気温度設定ロードリセット制御を無効にして、給気温度設定値を固定する。
		ファン回転数制御 有効/無効設定	
		ファン INV 出力設定（固定）	ファン回転数制御を無効にして、INV 周波数（出力）設定値を固定する。

6. FPT 法による VAV 空調システムの搬送エネルギー削減計画書

「はじめに」で述べたように、本書では、1)VAV 空調システムシステムを適切に設計し、2)竣工前に設計内容に添った初期調整をすることにより省エネ性能の確実な達成を目指すとしており、このプロセスを FPT 法と称するとした。そして4章では FPT 法が対象とするシステムを定め、5章では、VAV 空調システムの搬送動力の省エネを達成する上で必要な知見や要点について「必要な設計配慮」として解説した。そこでは、システム、機器、制御方法、制御の閾値などを、仕様規定でトップダウン的に決めるのではなく、設計者がシステムや機器の特性を理解した上で決めるという、「性能規定」による設計方法の流れで解説した。

設計配慮の内容は全て設計図書に含まれているとはいえ、評価者や施工者がその内容を設計図書から読み解くのは難しい。そこで本法では、省エネ設計とその配慮について設計者が根拠を示して説明する「搬送エネルギー削減計画書」を作成し提出することを求めている。本章ではこれを、流れに沿って記載すればこの文書が作成できるようにという観点で解説している。なお、この計画書は省エネ設計の意図や設計判断を具体的に説明する文書であり、コミッショニングでは「設計主旨文書」と呼ばれるものに相当する。

以下では、FPT 法が求める必須事項を【要件】、設計者の判断や裁量で決める際に配慮すべき事項を【指針】、計画書に記載すべき、設計の主旨、システム構成・機器仕様、計測ポイント、エネルギー消費量などを【記載項目】とし、それらを順に列挙している。

6.1 FPT 法が対象とする VAV 空調システムのゾーニングと構成

6.1.1 ゾーニング

【要件】

VAV 空調システムは、系統内にある各室の熱負荷ができるだけ均質となるようにゾーニングをして系統分けを行うこと。

【指針】

VAV 空調システムのゾーニングは、「5.1.1 ゾーニング」で記した建築的・設備的配慮をして、空間的・時間的にバランスが悪くなるような熱負荷や冷暖房の同時発生などを避け、できる限り各室の熱負荷が均質となるようにする。

【記載項目】

1. ゾーン各室の顕熱負荷： 設計計算書を引用するなどして各室の顕熱負荷に大きな不均質がないことを示す。なお、この顕熱負荷集計表（以下、表 A と呼ぶ）には選定した VAV ユニットのサイズや型番を併記する。もしも熱負荷に大きな不均質が生じる可能性がある小部屋や用途の異なる室があれば

ば、その室には、別途の対応設備を設けている、給気温度リセット制御の対象から外している、など具体的な配慮や対策を記す。

2. ペリメータゾーンの冷暖房同時発生： ペリメータゾーンに冷暖房が同時発生するかどうかを判断し、発生する場合にはデュアル VAV を設けるなど、その配慮や対策について説明する。

- 5 3. その他： その他、ゾーニングに関する配慮と対策があれば記載する。

6.1.2 VAV 空調システムの構成

【要件】

VAV 空調システムは、4.1 で記したいずれかのシステム構成（Type）とし、それぞれのシステム要件を満たすものとする。

10 【指針】

システム構成 Type は風量変化時にもエアバランスが達成できるかどうかをよく見極めて選定する。

【記載項目】

VAV 空調システムの系統毎に下記を記載する。ただし、同じシステム構成であればまとめてもよい。

- 15 1. システムの Type と構成： システム系統図を示して「4.3 対象とするシステムの基本構成」のうちの Type であるか記載する。
2. 空気循環方式： 空気循環方式を記載する（床吹出口方式でないことも明記）。
3. エアバランス： 風量制御において、どのようにシステム全体のエアバランスを保持する設計になっているかを説明する。
- 20 4. CAV ユニットの有無： 共用部分などの給気に CAV ユニットを併設している場合はその個所と風量などについて説明する。
5. 共用部の局所換気用排気ファン： 複数系統の VAV 空調システムに対して共用部の局所換気用排気ファンが共通である場合、その発停や風量制御方法について説明する。
6. 外気取入方式： 外気取入が固定風量か CO₂ 制御などによる可変風量制御か、外気取入ファンがあるかないか、などについて説明する。
- 25 7. 外気冷房： 外気冷房も可能な設計であればその想定期間を記す。外気冷房期間は VAV の搬送動力の省エネ対象期間から除外する。外気冷房期間にも、外気導入や余剰排気の適切な風量制御ができエアバランスが保てる設計になっていることを説明する。
8. CO₂ 制御： 室内空気や還気の CO₂ 濃度により外気取入量の制御を行うシステムであれば、その制御方法と、それがシステム全体のエアバランスに悪影響を与えないものであることを説明する。
- 30 9. その他： システム構成について、上記以外の設計配慮や対策があれば記載する。

6.1.3 最小風量設定値

【要件】

- 5.1.3 で記したように、VAV ユニット、給気ファン、風量制御を行う還気ファンや余剰排気ファンなどの最小風量を規定することは省エネ上重要であり、かつエネルギー消費量の推定にも必要であるためこれらの値を定めて記載する。
- 35

【指針】

顕熱負荷が小さくなれば「VAV ユニットが適切に風量を絞る」と制御任せにするのではなく、設計で最小風量を定め、それが達成できるシステム・機器・制御にする。

【記載項目】

- 40 1. 各 VAV ユニットの最小風量設定値： 各 VAV ユニットの定格風量と最小風量設定値を記した表を作成し、この値を VAV 制御の初期調整時のパラメータとするように指示する。

2. 複数の VAV ユニットが壁で区画された同一空間（室）にあれば、これらの VAV の合計風量が最小風量設定値を確保すればよく各 VAV は極端な場合風量がゼロになってもよい。このような制御法（あるメーカーはこれを風量総和制御と呼んでいる）を採用する場合は、同一空間内の VAV ユニットを表で示し、その群としての最小風量を明記する。
- 5 3. 回転数制御をするファンについては最小風量を 5.1.3 の解説を参考にして定め、その値を記す。
4. その他： 最小風量に関して、上記以外の設計配慮や対策があれば記載する。

6.2 給気ダクト系とファンの設計

給気ダクト系とファンは、5.2 を参考にして設計する。

6.2.1 VAV ユニットの選定と仕様指示

10 【要件】

室（ゾーン）の顕熱負荷により定格風量を求めて適切な VAV ユニットを選定する。

【指針】

定格（最大）風量は冷房時と暖房時とで異なるが、両者を考慮して風量制御の範囲ができるだけ広くカバーできる VAV ユニットを選定する。

15 【記載項目】

1. 温度制御機構： VAV ユニットには温度制御機構も含めて搭載することを明記する。
2. 制御機能：
 - ・ 空調停止信号により VAV ユニットを全閉にする機能、および全開信号（100%）と適正開度信号（一般に 85～100%）を発信する機能を有することを記す。
 - ・ 上記の他、現在の計測室温、室温設定値、ならびに制御設定風量、計測風量を出力信号として発信する機能を有することを記す。
3. VAV ユニット供給限界最小風量： 機器として制御可能な限界最小風量比が、上項 6.1.3 で定めた最小風量設定値より小さな値であることを確認し（10%程度が適切である）、この値を記す。
4. 稼働最小圧力： できるだけ低いファン静圧で風量制御ができる機器を選定し、その稼働最小圧力を記す（20Pa 以下が好ましい）。機器をグループに分けてまとめて記載してもよい。
5. VAV ユニットの設置方法： VAV ユニットの風量センサの精度確保のためにユニット前後に適切な長さの直管部や整流部などを設ける配慮をし、この施工仕様を設計図書に記す。
6. その他： VAV ユニットに関して、上記以外の設計配慮や対策があれば記載する。

30 6.2.2 給気ダクトの設計

【要件】

各 VAV ユニットにバランス良く給気し、かつ搬送動力が小さくなるようにダクトを設計する。

【指針】

1. 他に比して圧損が大きすぎるダクトルートがあれば、ダクト径を増して圧損を減じる設計配慮や対策をしてダクト系全体の圧力バランスが適切になるような設計とする。
2. バランスが悪くなりそうなダクト系やルートがあれば静圧再取得法の原理を活用して設計することも考慮する。
3. VAV ユニットの発生騒音を抑えるために VD で抵抗を付けるような設計は害のほうが大きいため避けるようにする。

40 【記載項目】

1. 給気ダクトの圧力損失：ダクトの圧損計算表を引用してダクトルートの最大圧損を記す。
2. VAV ユニットの騒音対策：VAV ユニットの発生騒音が問題となりそうな室用途があれば騒音計算を行いその判定結果を記す。別途、ダクトの騒音計算書があればそれを添付・引用してもよい。
3. その他：給気ダクトに関して、上記以外の設計配慮や対策があれば記載する。

5

6.2.3 給気ファンの選定

【要件】

ファンの定格風量ならびに静圧が過大とならないようにファンを選定する。

【指針】

- 10 1. 過大なファンを選定とならないように、給気ファンの定格風量は、原則、系統全体の同時発生顕熱負荷の最大値から見出す。
2. 給気ファンの静圧は、室内と外気の静圧が等しくなるという前提条件において、前項で定めたダクト圧損に空調機の定格機内抵抗、外気取入ダクトの圧損などを加えて定める。

【記載項目】

- 15 1. 給気ファンの定格風量と静圧：5.2.3 を参考にしてファンの定格風量と静圧を定めそれを記す。
2. その他：給気ファンに関して、上記以外の設計配慮や対策があれば記載する。

6.2.4 給気ファンの最大・最小回転数

【要件】

- 20 給気ファンは運転可能な最小回転数比ができるだけ小さなファンを選定する。

【指針】

給気ファンのメーカは回転数の下限に制限を設けている（例えば定格回転数の 30%とかインバータの周波数で 15Hz とか）。これを確認の上できるだけ小さな最小回転数比で運転できるファンを選定する。なお、例えば直膨型の空調機などでは最小風量においてファン以外の制約がある場合もあるので注意を

25 払う。

注） 重要なのは回転数そのものではなく、定格回転数と最小回転数の比率である。例えば最小回転の周波数を 20Hz と規定している場合、定格回転が商用周波数 50Hz であれば比率が 0.4 であるのに対して、INV 運転を前提として定格周波数が 100Hz であれば比は 0.2 となり制御範囲が大きくなる。こういう視点からファンの最小回転数を評価する必要がある。

30

【記載項目】

1. 給気ファンの定格回転数：定格運転時の回転数（rpm）と INV 周波数（Hz）を記す。
2. 給気ファンの最小回転数比：定格回転数比を 1.0 として最小回転数比を記す。
3. その他：給気ファンの回転数に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

35

6.2.5 ファンの電動機・インバータの効率

【要件】

ファンの電動機やインバータの効率が高い機器を選定する。

【指針】

- 40 両者とも部分負荷時には効率が減じるが、これに関する情報提供が進んでいないので、当面、それぞれ定格負荷時の効率で評価してよい。

【記載項目】

1. ファンの電動機・インバータの効率： それぞれ定格運転時の効率を記す。
2. その他： 電動機やインバータの効率に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

5 6.3 ファン回転数と給気温度の制御

給気ファンの回転数制御と給気温度の制御は搬送動力の省エネに大きく関わるため以下のような配慮をする。

6.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線の決定

【要件】

- 10 給気ファンの回転数は、給気風量比に対する回転数比を一次関数（FF 線）によるフィードフォワード制御とそれを補正する静圧過不足補正制御により制御するものとする。設計では、FF 線の係数を決定し、それを用いて一次消費エネルギーの計算を行う。また、同じ系統内に熱負荷が特異となるような室が存在すると回転数の補正制御が不具合を起こすことがあるので、そうした室を回転数制御の判定対象から除外するよう設計で配慮する。

15 【指針】

一般にフィードフォワード線は曲線になるが、近似的に直線で求めることとする。また、回転数比の補正制御は、この式で求める回転数比よりは常に小さくなる側にしか補正しないような制限をかける。

【記載項目】

- 20 1. フィードフォワード線の係数： 5.3.1 で解説した方法によりフィードフォワード線の係数 a 、 b を定め明記する。
2. 回転数比の補正制御は、この直線で求めた回転数比より小さい方向にしか補正しないように制限をかけるよう設計図で指示する。
3. 熱負荷が特異な室： 系統内に熱負荷が特異になる可能性のある室は、回転数比の補正制御の判定対象室から除外するよう設計図で指示する。
- 25 4. その他： 給気ファンの回転数制御に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.3.2 空調機の給気温度制御

【要件】

空調機の給気温度リセット制御のパラメータ値は、デフォルト値で運用するのではなく省エネ運転となるように初期調整をすることが重要であるので、その指示を設計図書に記す。

30 【指針】

1. 空調機の給気温度は、給気温度と室温の差が可能な限り最大となるように、つまり給気風量が最小限となるように制御する。この実現には適切なパラメータ設定をするなどの初期調整が必須であるため、5.3.2 を参考にして指示事項を設計図書に記す。
2. 在室者が室温設定値を異常な値にセットすると非省エネな運転が行われるため、原則として中央から運転管理者が設定できる設計とする。
- 35

【記載項目】

1. 初期調整を実施する技術者に向けた指示事項： 冷風モード時に給気風量を最小に制御するために必要な初期調整の指示事項を 5.3.2 の解説を参考にして設計図に記す。下記はその一例である。
- ・初期調整で給気温度リセットの増減値をデフォルト値に拘らず適切な値に調整すること。
 - ・冷房・暖房の設定室温を近接させないように調整する（近接しすぎると風量過多という不具合が発
- 40

生しやすくなるため)。

なお、設計図には上記のように特記事項として記載するだけでよいが、初期調整法については本解説書の第2編「初期調整手順」を施工に関する特記仕様書の一部として転載するようにする。

2. 室温設定機能： 在室者が現地で室温設定操作ができる設計なのか、中央から遠隔で設定する設計なのかなど、室温設定方法について記す（原則として在室者が自由に設定できないような設計とするのがよい。）。
3. 運転管理マニュアルの作成： 特記仕様書で運転管理マニュアルを作成することを要求し、そこに、室温の冷房・暖房の室温設定値が接近しないようして運転するなど、省エネ運転上の注意点を記載するように指示する。
4. その他： 給気温度制御に関して、上記以外の特記事項ならびに配慮や対策があれば記載する。

6.4 エアバランスと給気系以外のシステム

【要件】

- VAV によって風量に変化しても空調システム全体のエアバランスが適切に保てるように、還気ファン・余剰排気ファン・換気ファン・外気取入ファンなどについて制御を含めた設計を適切に行う。

【指針】

1. 適切なエアバランスとは、給気風量に変化しても室間や外界との圧力差を適切に維持して、還気・排気・取入外気などを設計通りの風量に維持できるようにすることをいう。つまり、外壁・窓・開口部などの隙間を通じた想定外の漏入・漏洩がほぼ生じないようにエアバランスをとり省エネな運転ができるようにする。
2. 室から廊下などの共用部にパスダクトなどで空気を流し、その空気がトイレやパントリーなどから換気ファンで局所排気される場合には室の圧力のほうが共用部より僅かに高くなるが、その程度の微差圧はエアバランスの観点からは無視するものとする。

【記載項目】

- 適切なエアバランスの達成で配慮すべき項目は空調システムの Type によって異なるため、5.4 節で各 Type において設計配慮すべき項目を解説した。以下では、配慮事項を網羅的に挙げているが Type によっては記載不要な事項もある。
1. 還気の閉止機構： 小部屋の給気が完全閉止された場合、還気も閉止する機構があるかどうかを記す。
 2. 還気ファンの仕様： 定格時の風量、静圧、回転数、運転可能な最小回転数比を記す。
 3. 余剰排気ファンの仕様： 定格時の風量、静圧、回転数、運転可能な最小回転数比を記す。
 4. 局所排気ファン： 原則として固定回転数とする。定格の風量、静圧、回転数、運転可能な最小回転数比を記す。
 5. エアバランス制御用の VAV・ダンパの設置： 5.4 節で解説したように、エアバランスの制御を行うための VAV ユニットやモータダンパ (MD) を必要個所に設けその制御意図を記す。
 6. 還気ファンや余剰排気ファンなどの回転数制御を行うためのパラメータ： 還気ファンや余剰排気ファンは給気ファンと同じく 1 次式のフィードフォワード線により制御するように設計し、その 1 次式のパラメータを 5.4 で解説した方法で求めて記す。
 4. その他： エアバランスや給気系以外のシステムに関して、上記以外の特記事項ならびに配慮や対策があれば記載する。

6.5 ファン消費電力の推定

本 FPT 法では、熱負荷比に対するファンの消費電力比を算定するための近似式（3 次多項式）を web プログラムにパラメータとして与え年間一次エネルギー消費量を推定して提出することを求める。

6.5.1 熱負荷比から給気ファンの消費電力比を推定する回帰式

5 【要件】

熱負荷比から給気ファンの消費電力比を求めるための近似式（3 次多項式）を回帰式として求め、その係数を WEB プログラムに代入することによりファンの年間一次エネルギー消費量を求める。

【指針】

1. 5.5.1 節に従って、風量比（=全熱負荷比）から給気ファンの消費電力比を求めるための近似式（3 次多項式）を求める。
2. 6.5.4 節に述べるように、この多項式の係数を web プログラムに入力しファンの年間一次エネルギー消費量を推定する。

【記載項目】

5.5.1 で述べた方法で近似式（3 次多項式）を求め、その計算過程で得た下記の値を記す。

1. 風量比： 5.5.1 節で述べた 5 点の風量比（=全熱負荷比）の値。
2. ファン回転数比： これら風量比に対してファンのフィードフォワード線を用いて得たファンの回転数比（5 点）の値。
3. 消費電力比： これら風量比と回転数比の組に対して、ファンの特性曲線あるいはファンモデルを用いて求めた消費電力比（5 点）
4. 回帰式の係数： 上記 5 点の風量比と消費電力比に、風量がゼロの消費電力比を最小風量時の値と同じとして加えた 6 点をもとに 3 次の回帰多項式を最小二乗法で得て、この係数の値を記載する。
5. その他： 回帰式の求め方や係数に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.5.2 還気風量比に対する還気ファンの消費電力を推定する回帰式

25 【要件】

還気風量比から還気ファンの消費電力を求めるための近似式（3 次多項式）を定める。

【指針】

給気ファンと同様。

【記載項目】

30 5.5.2 に沿って 3 次回帰式を求める。その過程で得た下記の値を記す。

1. 還気ファンの風量比： 上記の解説で述べた 5 点の風量比。
2. ファン回転数比： 還気ファンのフィードフォワード線と風量比を用いて求めたファンの回転数比（5 点）
3. 消費電力比： 風量比と回転数比から求めた消費電力比（5 点）
4. 回帰式の係数： 5 点の風量比と消費電力比に風量がゼロの消費電力比を最小風量時の値として加えた 6 点をもとに 3 次の回帰多項式を最小二乗法で得て、その係数を記す。
5. その他： 回帰式の求め方や係数に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.5.3 外気取入・余剰排気・換気ファンの年間一次エネルギー消費量

40 本書では CO2 制御のような外気風量を制御するシステムは対象としていないので、外気取入・余剰排

気・局所換気ファンは固定速ファンとしてエネルギー消費量を評価するので本法の対象外とする。

6.5.4 web プログラムによる年間一次エネルギー消費量の推定

【要件】

上記のようにして得た風量比（＝顕熱負荷比）とファンの消費電力比の近似式を用いて web プログラムにより年間一次消費電力量を推定する。ただし、本法では暖房時の VAV 空調システムの搬送動力削減は評価しないため、冷房負荷に対してのみ年間の積算消費電力量を求めた結果を整理して提出する。

【記載項目】

1. 給気ファン、還気ファンなど各可変速ファンの年間の積算一次エネルギー消費量： 推定した各ファンの一次エネルギー消費量の各月および年間の積算値。
2. その他： エネルギー消費量の結果に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.6 初期調整に必要な測定センサ

初期調整に必要なセンサを、常設設置すべきものとテンポラリに設置してもよいものとに分けて以下のように規定する。

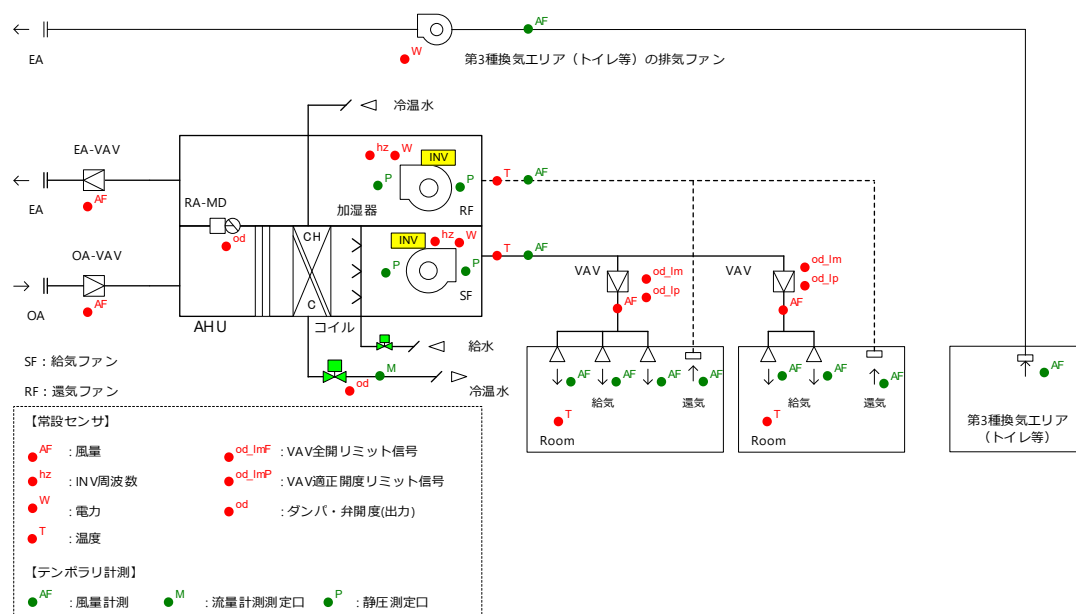


図-6.6.1 VAV 空調システムの測定ポイント

6.6.1 常設センサによる必要計測ポイント

【要件】

下記の計測ポイントは初期調整に必須の常設計測ポイントである。これらが確認できる資料を作成するか設計図から転記して削減計画書に記載または添付する。

【記載項目】

下記の計測ポイントの一覧を作成するか、設計図書から引用して明示する。

1. 本 FPT 法の対象となる全ての VAV ユニットにおける、計測室温、設定室温、計測風量、および全開・適正開度リミット信号（VAV コントローラ経由で取得する信号）
2. 風量制御に関わるモータダンパの開度
3. 給気・還気・余剰排気・（局所換気）ファンなど回転数制御するファンの電力 [kW]、およびインバータ周波数 [Hz]（制御出力を周波数に換算）。なお、それぞれに定格周波数を併記すること。

4. 室内温度計測値、室内温度設定値
5. 給気量、還気量、外気取入量、局所換気量など、主要なダクトルートの風量計測値、および演算値（例えば還気風量を直接計測していない場合は、「給気風量－外気風量－排気風量」として計算した値）
- 5 6. その他： 常設計測ポイントに関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.6.2 テンポラリな風量計測ポイント

【要件】

10 テンポラリな計測ポイントの特記仕様などの設計図書に記す。なお、これらは常設センサとしてもよい。

【記載項目】

1. 制気口風量計測： 室に設ける VAV ユニットの downstream にある制気口の風量を測定することを設計図で指示していることを示す（設計図書から引用する）。
- 15 2. ダクト風量計測： ダクト経路において、給気風量、還気風量、余剰排気風量の計測ができるように測定口を設けると指示していることを示す（設計図書から引用する）。
3. その他： テンポラリ計測ポイントに関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.6.3 自動制御メーカーのツールを用いた計測・操作

【要件】

20 初期調整の効率を上げるために「自動制御メーカーの調整ツール」を用いることを特記仕様書で明記する。

【記載項目】

1. 初期調整で利用するツール： 初期調整に自動制御メーカーの調整ツールを用いることを特記仕様書に記す。エネルギー削減計画書にはその記載部分を引用して明記する。
- 25 2. その他： 自動制御メーカーの調整ツールに関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

6.7 初期調整・機能性能試験に関する特記仕様

【要件】

1. 第2編「初期調整手順」において規定する「初期調整」の実施を求める。
2. 初期調整の後、機能性能試験を実施して性能の確認を行うことを求める。

【指針】

- 30 1. ここでいう初期調整は、通常、施工者が行う試運転調整では実施されない調整内容なので、この違いが施工者に判るように特記仕様書で明記する。
2. 機能性能試験も一般には実施されない試験なので、その作業内容を特記仕様書に明記する。

【記載項目】

- 35 1. 初期調整の実施内容： 本解説書を参考にして、「具体的にどのように初期調整をするかが判る文書」を特記仕様書に明記する（本解説書から必要な章節を引用してよい）。
2. 機能性能試験の実施内容： 同上
- 40 3. 機能性能試験の実施者： 機能性能試験実施と合否判定は、原則として VAV システムに関する専門的な知識を有する第三者が実施することとするが、同等の資質を有する施工会社の QC 部門の担当者でも可能とする、ということを特記仕様書に明記する。

以上の記載がなされていることが確認できるように、エネルギー削減計画書にその記載部分を引用するか添付して明示する。

4. その他： 初期調整・機能性能試験に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

5

6.8 その他

建築物省エネ法に基づく任意評定を取得する際は、別途、任意評定ガイドラインに定める要件に従うこと。

10 【参考文献】

- 0) 「建築設備コミッショニングマニュアル」、NPO 法人建築設備コミッショニング協会、2025
- 1) Jhon Murphy, “Using VAV to Limit Humidity at Part Load”, ASHRAE Journal, October 2010 (伊藤訳、部分負荷時の湿度制御への VAV の利用、空気調和衛生工学会誌、85 巻第 11 号、2011)
- 2) 大島、又賀、下田、“詳細計測データを用いたオフィスにおける VAV 送風システムの運用実態と性能評価に関する研究”, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集、E-30、第 9 巻、2017
- 3) 岡本、柳井、村山、若松、“超高層オフィスビルにおける省エネルギー運用に関する研究－（第 2 報）VAV の制御調整による搬送動力の低減効果”, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集、E-39、2003
- 4) 松元, “VAV・VWV 制御”, 空気調和衛生工学会誌、83 巻第 2 号、2009
- 5) H.J. Souer Jr., R.H. Howell, “Estimating the Indoor Air Quality and Energy Performance of VAV Systems”, ASHRAE Journal, July 1992 (福山訳、VAV システムの室内空気質とエネルギー性能の評価、空気調和衛生工学会誌、79 巻第 9 号、2005)
- 6) Steven T. Taylor, Jeff Stein, “Dual Maximum VAV Box Control Logic”, ASHRAE Journal, December 2012 (伊藤訳、デュアルマキシマム VAV の制御ロジック、空気調和衛生工学会誌、88 巻第 3 号、2014)
- 7) 浅田、吉田、宮田、“VAV ユニットの不具合がシステム全体のエネルギー消費量に与える影響に関する研究”, 日本建築学会近畿支部研究報告集、No.4067、2004
- 8) 宮田、吉田、藤井、浅田、VAV ユニットの不具合によるエネルギー浪費の推定手法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2005.9、pp.33-36
- 9) 空気調和衛生工学会会誌「特集・VAV 方式の現状」、第 50 巻第 6 号、1976
- 10) “*High-Performance Sequences of Operation for HVAC Systems*”, ASHRAE Guidelines 36-2018, June 2018

以上

35